

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-042150

(43)Date of publication of application : 16.02.2001

(51)Int.Cl.

G02B 6/122

C25D 5/02

C25D 7/12

G02B 6/13

H01S 5/026

(21)Application number : 11-216193

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 30.07.1999

(72)Inventor : SAKATA HAJIME

YAGI TAKAYUKI

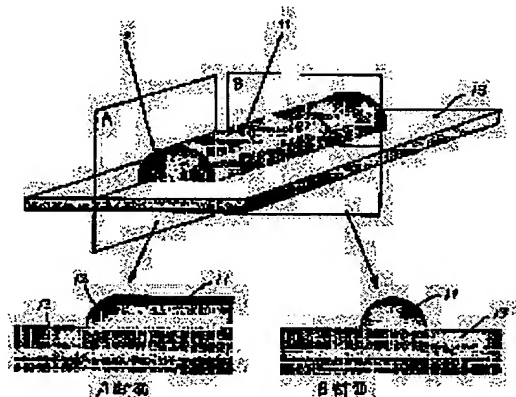
ONOUCHI TOSHIHIKO

(54) OPTICAL WAVEGUIDE, ITS MANUFACTURE AND OPTICAL INTERCONNECTING DEVICE USING IT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical waveguide which has a low propagation loss, can be formed on an arbitrary substrate and is easily manufactured and its manufacturing method.

SOLUTION: An optical waveguide 11 is provided with the partial cylindrical body part which is composed of material transparent to the wavelength of propagating light and has an elongated shape and the terminal part 12 of the partial spherical surface body or the curved surface body similar to it, which is composed of the same material as the partial cylindrical body part and is smoothly connected to the partial cylindrical body part. The propagating light is optically guided by repeating the whole reflection in the partial cylindrical body part and the boundary surface dividing the shape of the terminal part.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 15.11.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 15.06.2004

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

* NOTICES *

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The part of a partial cylinder object with the configuration which consisted of the transparent ingredient to the wavelength of propagation light, and was extended for a long time, Optical waveguide characterized by guiding waves and going by the repeat of the total reflection in the interface where it has the trailer of the curvilinear solid configuration near the partial spherical-surface object thru/or it which consisted of the same ingredient as the part of this partial cylinder object, and was smoothly connected with this, and propagation light draws the configuration of a part for this partial cylinder soma, and a trailer.

[Claim 2] Optical waveguide according to claim 1 characterized by making the partial spherical-surface object which has the ups-and-downs section and led to the partial cylinder object whose configuration of this ups-and-downs section is two smoothly thru/or the curvilinear solid near it.

[Claim 3] Optical waveguide according to claim 1 characterized by making the partial spherical-surface object with which it has an intersection and the configuration of this intersection led to two or more partial cylinder objects smoothly thru/or the curvilinear solid near it.

[Claim 4] Optical waveguide according to claim 1, 2, or 3 to which the clad which consists of the ingredient of a low refractive index from this core is characterized by being partially stuck and prepared in said interface of this core at least by using as a core the part connected with a part for said partial cylinder soma, and it with this ingredient.

[Claim 5] Said clad is optical waveguide according to claim 4 characterized by including the substrate section prepared in the plane interface of the core which consists of the part connected with a part for said partial cylinder soma, and it with this ingredient by sticking partially at least.

[Claim 6] Optical waveguide according to claim 5 characterized by being formed so that it may combine with a core and the light which carries out incidence through said trailer to said substrate section in general perpendicularly may be spread.

[Claim 7] Optical waveguide according to claim 5 or 6 characterized by being formed so that outgoing radiation of the light which has spread said core may be carried out through said trailer to said substrate section in general perpendicularly.

[Claim 8] Optical waveguide given in claim 1 thru/or any of 7 they are. [which is characterized by the ingredient which constitutes said optical waveguide consisting of resin or glass]

[Claim 9] Optical waveguide given in claim 1 thru/or any of 8 they are. [to which said optical waveguide is characterized by being prepared on semi-conductor substrates, such as a resin plate, a glass plate, a quartz plate or Si, GaAs, and InP,]

[Claim 10] Optical waveguide according to claim 9 characterized by the substrate with which said optical waveguide is formed having flexibility.

[Claim 11] Optical INTAKONEKUSHON equipment with which it is optical INTAKONEKUSHON equipment containing optical waveguide given in any [claim 1 thru/or] of 10 they are, and the optical I/O section of the optical waveguide like said trailer is characterized by being formed in the substrate upper part or the lower part by which the light emitting device or the photo detector has been arranged at

least.

[Claim 12] Said light emitting device is optical INTAKONEKUSHON equipment according to claim 11 characterized by being the surface emission-type laser which consisted of semiconducting crystals and equipped the both sides of a barrier layer with reflective Miller.

[Claim 13] Said light emitting device is optical INTAKONEKUSHON equipment according to claim 11 characterized by being the light emitting diode which consists of semiconducting crystals and consists of pn junction or pin junction.

[Claim 14] Said photo detector is optical INTAKONEKUSHON equipment according to claim 11, 12, or 13 which consists of semiconducting crystals and is characterized by being pin photo diode.

[Claim 15] Said photo detector is optical INTAKONEKUSHON equipment according to claim 11, 12, or 13 which consists of semiconducting crystals and is characterized by being a MSM (Metal-Semiconductor-Metal) mold photodetector.

[Claim 16] Said light emitting device is optical INTAKONEKUSHON equipment given in claim 11 thru/or any of 15 they are. [which is characterized by being unified on the semi-conductor substrate by which the drive of a light emitting device and the electronic circuitry for control were integrated]

[Claim 17] Said photo detector is optical INTAKONEKUSHON equipment given in claim 11 thru/or any of 16 they are. [which is characterized by being unified on the semi-conductor substrate by which the electronic circuitry magnification of a photo detector and for control was integrated]

[Claim 18] Optical INTAKONEKUSHON equipment given in claim 11 thru/or any of 17 they are. [to which said optical waveguide is characterized by carrying out optical wiring of the semi-conductor circuit chip of each other]

[Claim 19] Optical INTAKONEKUSHON equipment given in claim 11 thru/or any of 17 they are. [which is characterized by being formed so that said optical waveguide may connect the chip inter module by which two or more mounting of the semi-conductor circuit chip was carried out with optical wiring]

[Claim 20] Optical INTAKONEKUSHON equipment given in claim 11 thru/or any of 17 they are. [which is characterized by said optical waveguide performing optical wiring in the board mounted by intermingling a semi-conductor circuit chip and a chip module]

[Claim 21] Optical INTAKONEKUSHON equipment given in claim 11 thru/or any of 17 they are. [which is characterized by being formed so that said optical waveguide may connect between the boards on which the semi-conductor circuit chip thru/or the chip module were mounted]

[Claim 22] The production approach of the optical waveguide characterized by the optical waveguide of the optical INTAKONEKUSHON equipment of a publication being produced by optical waveguide given in any [claim 1 thru/or] of 10 they are or claim 11 thru/or any of 21 by mold push using metal mold.

[Claim 23] It is the production approach of the optical waveguide of optical waveguide given in any [claim 1 thru/or] of 10 they are or claim 11 thru/or optical INTAKONEKUSHON equipment given in any of 21. the substrate for plating which has a conductive part partially at least -- using -- (1) -- the process which forms an insulating mask layer on the conductive part of said substrate -- Said substrate for plating is used as cathode. (2) -- the process which forms opening of the shape of a slit with the suitable pattern for said mask layer, and (3) -- by electroplating the process which forms a deposit on opening and a mask layer through opening, and (4) -- the process which forms metal mold in the substrate in which said deposit was formed -- (5) -- the process which exfoliates said metal mold from said substrate, and (6) -- the production approach of the optical waveguide characterized by having the process which carries out templating of the optical waveguide ingredient using said metal mold.

[Claim 24] The production approach of the optical waveguide according to claim 23 characterized by a deposit growing isotropic focusing on opening by electroplating in said process (3).

[Claim 25] The production approach of the optical waveguide according to claim 23 or 24 characterized by controlling plating time amount and plating temperature in said process (3), and controlling the magnitude of the partial cylinder object of a deposit.

[Claim 26] The production approach of the optical waveguide according to claim 23, 24, or 25

characterized by including the process which forms a sacrifice layer in said process (3) after forming a deposit.

[Claim 27] The production approach of optical waveguide given in claim 23 thru/or any of 26 they are.
[which is characterized by forming metal mold by plating in said process (4)]

[Claim 28] The production approach of the optical waveguide according to claim 26 or 27 characterized by being carried out when the process which exfoliates metal mold from the substrate for plating removes said sacrifice layer in said process (5).

[Claim 29] The production approach of optical waveguide according to claim 26 or 27 that the process which exfoliates metal mold from the substrate for plating is characterized by being carried out by carrying out sequential etching removal of a substrate and the deposit in said process (5).

[Claim 30] The production approach of optical waveguide given in claim 23 thru/or any of 29 they are.
[which is characterized by using Si wafer as said substrate for plating]

[Claim 31] The production approach of optical waveguide given in claim 23 thru/or any of 30 they are.
[which is characterized by said mask layer consisting of a photoresist]

[Claim 32] The production approach of optical waveguide given in claim 23 thru/or any of 31 they are.
[which is characterized by forming said slit-like opening by the pattern set by the design of optical waveguide]

[Claim 33] The production approach of optical waveguide given in claim 22 thru/or any of 32 they are.
[which is characterized by the ingredient which constitutes said optical waveguide consisting of resin or glass]

[Claim 34] The production approach of optical waveguide given in claim 22 thru/or any of 33 they are.
[to which said optical waveguide is characterized by being prepared on semi-conductor substrates, such as a resin plate, a glass plate, a quartz plate or Si, GaAs, and InP,]

[Claim 35] The production approach of optical waveguide given in claim 22 thru/or any of 34 they are.
[which is characterized by the substrate with which said optical waveguide is formed having flexibility]

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the optical waveguide suitable for integration with a light emitting device and a photo detector, its production approach, and the optical INTAKONEKUSHON equipment using this.

[0002]

[Description of the Prior Art] Optical waveguide consists of high ingredients with a permeability of several 10 micrometers from the line breadth of several micrometers, and can realize from it various functions to be as modulating the function, a wavelength filter, or multiplexing/spectral separation, the luminous intensity, and the phase of not only propagation of light but unification/branching of light ****. For this reason, broad application is expected from the field of information processing, such as an information transmission, optical memory, etc. using light, such as an optical transmission system and optical INTAKONEKUSHON.

[0003] As a light emitting device for performing optical transmission through optical waveguide, recently, light is emitted to a substrate perpendicular direction, and it is a low ** value and, moreover, development of the easy field luminescence laser of array-izing is progressing. Moreover, although it is not laser, LED (light emitting diode) is also widely used as an easy light emitting device of mounting by low cost. Since the photo detector and gestalten of a gestalt which such field outgoing radiation types of light emitting device receives from the first in a field, such as photo diode, are alike, combination compatibility is also good constitutionally, and the application to optical INTAKONEKUSHON (optical wiring or optical connection, and homonymy) which connects the modules between boards and in a board or LSI chips attracts attention.

[0004] By such reason, it can form not only in a glass substrate, a quartz substrate, a resin substrate, etc. but in Si wafer, a SOI (Semiconductor on Insulator) wafer, GaAs, a compound semiconductor wafer called InP, etc. freely, and the demand of the high optical waveguide of mass-production nature is increasing. Of course, association with that propagation loss is low, a light emitting device, or a photo detector is easy as fundamental engine performance of optical waveguide, and it cannot be overemphasized that it is called for that an insertion loss is low. Moreover, the activity of optical waveguide is proposed also in the spontaneous light type display unit and reader which utilized electroluminescence (EL), LED, etc. Furthermore, also in the new optical-information-processing fields, such as a massively parallel processing/operation expected, optical waveguide will be required in a transfer of the information by light, or a signal from now on.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Conventionally, into substrates, such as SiO₂ and LiNbO₃, through the selection mask, refractive-index change was given by diffusion of a metal ion etc., or the convex type configuration was formed on the front face by etching as typical optical waveguide and its production approach. Moreover, how to form SiO₂ film on Si wafer and produce waveguide is also learned. Recently, resin, such as PMMA and polyimide, is applied, it lets patterning, such as direct or a

photoresist, pass, and the approach of making an optical waveguide configuration is also performed. [0006] Thus, it was common to have formed optical waveguide with photolithography on a substrate by the conventional approach. Consequently, usually the optical waveguide cross section became a rectangle or a trapezoid. Moreover, when optical waveguide was produced by etching, it was ruined not a little and it caused propagation loss. Furthermore, in order to carry out optical coupling of the optical waveguide to a light emitting device or a photo detector, the light emitting device or the photo detector was mounted in the basis of precise alignment to the optical waveguide end face. In practice, in order to raise joint effectiveness, it is also common to use 1 thru/or two lenses in between. Moreover, when luminescence/photo detector was located upwards to optical waveguide, 45 inclinations were attached to the optical waveguide end face, it considered as Miller, or the grating coupler was formed, and optical coupling was planned. Such technique has all come [however,] to acquire joint effectiveness with a making process sufficient complicated to stability.

[0007] Moreover, there are some which were indicated by JP,06-45584,A as an example of optical INTAKONEKUSHON using optical waveguide. Although this is performing optical wiring in an integrated circuit using optical waveguide, optical waveguide is a rectangle-like and the optical waveguide edge which performs optical coupling with luminescence/photo detector perpendicularly serves as a slanting inclined plane. Therefore, separate formation of the lens for condensing guided wave light needed to be carried out. Moreover, since the production approach of optical waveguide was based on the conventional approach, the substrate which forms optical waveguide had a limit.

[0008] this invention is accomplished in view of the trouble which the above-mentioned conventional technique has -- having -- the purpose -- (1) propagation loss -- low -- optical waveguide with high optical coupling effectiveness with (2) light emitting devices and a photo detector -- it is -- the substrate top of (3) arbitration -- formation -- possible -- (5) with a high controllability with easy and (4) production -- low cost -- it is offering the optical waveguide [-izing / optical waveguide], and its production approach. Furthermore, in the combination of this optical waveguide, and a light emitting device and a photo detector, it is simple and is in offering the optical INTAKONEKUSHON equipment of a high-speed broadband.

[0009]

[Means for Solving the Problem and its Function] In order to attain the above-mentioned purpose, the optical waveguide of this invention The part of a partial cylinder object (the configuration where the cylinder object was cut in the field parallel to a medial axis is called like this on these specifications) with the configuration which consisted of the transparent ingredient to the wavelength of propagation light, and was extended for a long time, It has the trailer of the curvilinear solid configuration near the partial spherical-surface object (the configuration where the solid sphere was cut in the suitable field is called like this on these specifications) thru/or it which consisted of the same ingredient as the part of this partial cylinder object, and was smoothly connected with this. It is characterized by propagation light guiding waves and going by the repeat of the total reflection in the interface which draws the configuration of a part for this partial cylinder soma, and a trailer. With this basic configuration, as shown in drawing 1 , the optical waveguide 11 of this invention is making the semicircle tubed partial cylinder object the propagation of light typically, and the optical I/O section (typically optical waveguide trailer) 12 is making the partial spherical-surface configuration or the configuration near it. Since a cylinder side is smooth, compared with the rectangle optical waveguide comparatively ruined [a side face's], propagation loss has the low description. And since optical waveguide termination makes the configuration like a spherical-surface configuration, for example, as shown in drawing 2 and drawing 3, this configuration of the optical I/O section 22 of optical waveguide 21 works as concave surface Miller, and optical coupling with the light emitting device 23 and photo detector 24 which carry out close outgoing radiation at right angles to the substrate section 26 can be performed easily. In addition, in drawing 1 , drawing 2 , and drawing 3 , the substrate members (clad) 13 and 26 consist of the ingredient which has a refractive index smaller than optical waveguides (core) 11 and 21.

[0010] Based on the above-mentioned basic configuration, the suitable gestalt like a less or equal is possible. Optical waveguide has the ups-and-downs section, the partial spherical-surface object which

led to the partial cylinder object whose configuration of this ups-and-downs section is two smoothly thru/or the curvilinear solid near it are made, or it has an intersection and the partial spherical-surface object with which the configuration of this intersection led to two or more partial cylinder objects smoothly thru/or the curvilinear solid near it are made.

[0011] Moreover, the clad which consists of the ingredient of a low refractive index from this core is partially stuck and prepared in said interface of this core at least by using as a core the part connected with a part for said partial cylinder soma, and it with this ingredient.

[0012] Moreover, said clad contains the substrate section prepared in the plane interface of the core which consists of the part connected with a part for said partial cylinder soma, and it with this ingredient by sticking partially at least (refer to drawing 1 thru/or drawing 3).

[0013] Moreover, it is formed, or it is formed so that outgoing radiation of the light which has spread said core may be carried out through said trailer to said substrate section in general perpendicularly, so that it may combine with a core and the light which carries out incidence through said trailer to said substrate section in general perpendicularly may be spread.

[0014] The ingredient which constitutes optical waveguide can consist of resin or glass, and optical waveguide may be prepared on semi-conductor substrates, such as a resin plate, a glass plate, a quartz plate or Si, GaAs, and InP. In this case, it may have flexibility so that it may be easy to treat the substrate with which optical waveguide is formed.

[0015] In order to attain the above-mentioned purpose, the optical INTAKONEKUSHON equipment of this invention is optical INTAKONEKUSHON equipment containing the above-mentioned optical waveguide, and it is characterized by forming the optical I/O section of the optical waveguide like said trailer in the substrate upper part or the lower part by which the light emitting device or the photo detector has been arranged at least.

[0016] In this configuration, a light emitting device is light emitting diode which consists of semiconducting crystals, is the surface emission-type laser which equipped the both sides of a barrier layer with reflective Miller, or consists of semiconducting crystals, and consists of pn junction or pin junction.

[0017] A photo detector consists of semiconducting crystals, it is pin photo diode, or it consists of semiconducting crystals, and is a MSM (Metal-Semiconductor-Metal) mold photodetector.

[0018] Moreover, the light emitting device is unified on the semi-conductor substrate by which the drive of a light emitting device and the electronic circuitry for control were integrated, or the photo detector is unified on the semi-conductor substrate by which the electronic circuitry magnification of a photo detector and for control was integrated.

[0019] In this optical INTAKONEKUSHON equipment, it is formed or optical waveguide is performing optical wiring in the board mounted by intermingling a semi-conductor circuit chip and a chip module, or it is formed so that between the boards on which the semi-conductor circuit chip thru/or the chip module were mounted may be connected, so that optical wiring may tie the chip inter module which carried out optical wiring of the semi-conductor circuit chip of each other or by which two or more mounting of the semi-conductor circuit chip was carried out.

[0020] In order to attain the above-mentioned purpose, the production approach of the optical waveguide of this invention is characterized by producing the above-mentioned optical waveguide by mold push using metal mold. Moreover, the substrate for plating which has a conductive part partially at least is used. Said substrate for plating is used as cathode. (1) -- the process which forms an insulating mask layer on the conductive part of said substrate, and (2) -- the process which forms opening of the shape of a slit with the suitable pattern for said mask layer, and (3) -- by electroplating the process which forms a deposit on opening and a mask layer through opening, and (4) -- the process which forms metal mold in the substrate in which said deposit was formed, and (5) -- the process which exfoliates said metal mold from said substrate, and (6) -- it is characterized by having the process which carries out templating of the optical waveguide ingredient using said metal mold.

[0021] The production approach of the optical waveguide which has the above-mentioned process can take the more concrete gestalt like a less or equal.

[0022] In said process (3), it is adjusted, or plating time amount and plating temperature are controlled and the magnitude of the partial cylinder object of a deposit can be controlled so that a deposit grows isotropic focusing on opening by electroplating.

[0023] Moreover, in said process (3), after forming a deposit, the process which forms a sacrifice layer may be included. In this case, the process which exfoliates metal mold from the substrate for plating is performed by removing a sacrifice layer.

[0024] Moreover, in said process (4), metal mold can be formed by plating. Exfoliating metal mold from the substrate for plating may be performed also by carrying out sequential etching removal of a substrate and the deposit.

[0025] Si wafer etc. can be used as said substrate for plating, and said mask layer can consist of a photoresist.

[0026] Said slit-like opening may be formed by the pattern set by the design of optical waveguide.

[0027] thus, the substrate which has the partial cylinder object crevice produced using the production approach of the partial cylinder object structure of explaining the optical waveguide of this invention below -- optical waveguide -- public funds -- it is produced by using as a mold. This is explained more to a detail.

[0028] The optical waveguide of this invention is produced as a mold (metal mold master) using the partial cylinder object-like deposit 42 which grew from the opening 41 of the shape of a slit as shown in drawing 4 (a) (for example, very thin rectangle configuration). Technique is performed as follows, for example. The partial cylinder object 42 which becomes the slit-like opening 41 formed in the insulating mask layer 44 prepared on the substrate 43 which has the conductivity used as a plating electrode from a deposit by electroplating is formed, a metal-mold ingredient is formed on metal mold (master) by using as metal mold (master) the substrate which has the partial cylinder object 42, and metal mold is first produced by exfoliating metal mold from said metal mold (master). If it plates on the slit-like opening 41, plating deposits in opening 41 first, and if it plates further, a deposit will begin to grow on opening 41 and the mask layer 44. If slit width is fully small compared with the anode plate of electroplating which counters within a plating bath, a deposit 42 will grow isotropic. Therefore, as shown in drawing 4 (b), in the field which intersects perpendicularly with a slit 41, a deposit 42 is formed in the direction which meets a slit 41 on opening 41 and the mask layer 44 in parallel in the shape of a semicircle. Consequently, the grown-up deposit 42 will make a partial cylinder object. In order that plating may grow isotropic, it will present a partial spherical-surface configuration or the configuration near it at slit termination.

[0029] Under the present circumstances, if the relational expression $\phi \leq 0.35R$ Becoming is filled when setting width of face of opening to ϕ and R Carrying out the radius of curvature of the opening right above section of a deposit, a partial cylinder object can be formed more in accuracy. That satisfying the above-mentioned relational expression especially has important semantics in order to give desired radius of curvature is the case where the width of face of said opening exceeds 10 micrometers. Moreover, even if the width of face of said opening is 10 micrometers or less, a partial cylinder object can be formed more in accuracy. This may be used when asking for a thinner optical waveguide core.

[0030] Since the above-mentioned technique can stop the deposit of plating if the current which flows between an anode plate and cathode is stopped as compared with the approach of forming the original edition by etching when a desired configuration is acquired, it can avoid an unexpected configuration error which will be etched by the time amount to rinsing, and is good. [of the controllability of production] Moreover, since the path of the partial cylinder object 42 is controllable by control of deposit time amount, the optical waveguide which has the width of face of arbitration is producible with control. After the metal mold for optical waveguides forms metal mold in the substrate (master) in which the deposit was formed, it is obtained by exfoliating metal mold.

[0031] thus, the production approach of this invention -- typical -- the gestalt of the partial cylinder object deposit of the above -- using -- optical waveguide -- public funds -- the configuration of the optical waveguide which forms a mold and was formed by molding using this metal mold becomes equal to the configuration of a deposit 42. as the ingredient of optical waveguide -- optical waveguide --

public funds -- an ingredient with easy exfoliation with a mold is used.

[0032] Since direct formation can be carried out from the metal mold (master) formed in electroplating, the above-mentioned metal mold for optical waveguides becomes possible [not needing an expensive facility, being able to produce by low cost, and also oban-izing easily]. Furthermore, the magnitude of a deposit can be controlled by plating time amount and plating temperature by in situ observation, and optical waveguide width of face can be controlled easily and with high precision.

[0033] Moreover, the more complicated metal mold for optical waveguides can also be formed using the same approach by forming two or more slit-like openings in a mask layer to compensate for arrangement of optical waveguide. What is necessary is just to exfoliate metal mold and a substrate mechanically as the approach of exfoliation. However, since it may deform at the time of exfoliation if metal mold oban-izes, it is also possible to take the approach of carrying out etching removal of a substrate, a mask layer, and the deposit one by one than a rear face.

[0034] When forming metal mold after preparing a sacrifice layer on a substrate and a deposit, it is possible by removing a sacrifice layer to exfoliate metal mold and a substrate. In this case, the ingredient of a sacrifice layer is chosen so that metal mold (master) may not be corroded by the etchant which etches a sacrifice layer. It is possible to carry out multiple-times use of the substrate which formed the deposit when a deposit and a substrate were not corroded by the etchant which etches a sacrifice layer, either as metal mold for metal mold (master), and when it becomes impossible for metal mold to use it with a blemish, dirt, etc. by use of multiple times, metal mold can be easily produced by the same approach.

[0035] If it can form on the substrate in which the deposit was formed, as an ingredient of the metal mold for optical waveguides and can exfoliate, any ingredients, such as resin, a metal, and an insulator, can be used. As the formation approach of simple metal mold, after applying melting or the dissolved solution of a resin metallurgy group and glass on the substrate with which the deposit was formed and hardening it, it exfoliates by the approach of the exfoliation mentioned above, and it is formed. In this case, as a metal mold ingredient, a substrate and a deposit choose heat damage and the ingredient which is not alloyed.

[0036] As other approaches, on a deposit and a mask layer, electroplating of the metal mold is carried out one by one, and it is formed by using a substrate as cathode. If a sacrifice layer is used, the electrode layer for metal mold will be formed on a sacrifice layer, and electroplating will be performed by using this electrode layer for metal mold as cathode. the optical waveguide produced by the above-mentioned approach -- public funds -- even if it uses a mold, optical waveguide is producible with molding.

[0037] This becomes possible to produce the optical waveguide of the pattern configuration of arbitration easily [are low cost and].

[0038] Furthermore, since the optical waveguide production approach of this invention is the production approach by molding, it can perform optical waveguide formation of a up to [the substrate of arbitration, or a sheet]. Since optical waveguide can be formed also in up to a semi-conductor wafer, it is suitable for the unification with various light corpuscle children and electronic devices, and the so-called optical INTAKONEKUSHON equipment using light can be applied to a signal or data transfer in the large range.

[0039]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of operation of concrete this invention is explained, referring to drawing.

[0040] The production approach of the optical waveguide of the 1st example of [1st example] this invention is explained below at a detail using drawing 7 from drawing 5 .

[0041] First, the configuration of the substrate used by drawing 5 (a) is explained. The electrode layer 52 is formed in the substrate 51 for plating formation, and the mask layer 53 is formed further. As a substrate ingredient for plating formation, it is also possible to use which [of a metal, semi-conductors (silicon wafer etc.), and insulators (glass, a quartz, high polymer film, etc.)] ingredient. If a metallic material is used as a substrate 51 for plating formation, it is not necessary to form the electrode layer 52. Moreover, if it has the conductivity which is extent in which electroplating is possible when using a

semi-conductor, it is not necessary to necessarily form the electrode layer 52. However, it is desirable to use an insulator, if you want to make an electrodeposited layer formed only in a desired field since the whole surface is exposed to electrodeposited liquid when using a metal and a semi-conductor as a substrate and an electrodeposited layer will be formed besides a metal mold forming face. Or it is also good to use what insulation-ized the front face of a metal and a semi-conductor partially.

[0042] As an electrode layer 52, since it is exposed to plating liquid, it is chosen from the ingredient which is not corroded by the plating liquid to be used. It is required to have insulation as a mask layer 53, and the insulation between the electrode layer 52 and plating liquid is maintained at the time of electroplating. The mask layer 53 can use both an inorganic insulator and an organic insulator that what is necessary is just the ingredient which has insulation.

[0043] In order to form metal mold on the substrate 51 for plating formation, it is desirable to use the small substrate of a wave or surface roughness. Moreover, since a substrate may curve with the internal stress and thermal stress of a deposit, it is desirable to use the metal plate with big Young's modulus with good surface smoothness as a substrate, a glass substrate, a silicon wafer, etc.

[0044] If the electrode layer 52 and the mask layer 53 are thickly formed on a substrate 51, surface roughness may increase by the formation approach. For this reason, as the formation approach of the electrode layer 52 and the mask layer 53, the thin film formation approaches, such as vacuum evaporation technique, a spin coat method, and the DIP approach, are used.

[0045] Next, as shown in drawing 5 (b), the slit-like opening 54 is formed in the mask layer 53. A deposit is formed through opening 54 and a deposit grows also on the mask layer 53. By making opening width of face small, formation of the optical waveguide of a minor diameter is more possible. In opening formation, opening 54 is formed in the mask layer 53 by the semi-conductor photolithography and etching which can form minute opening. Since the process of etching can be skipped as a mask layer 53 if a photoresist is used, it is desirable.

[0046] As shown in drawing 7, plating is soaked in the plating liquid 73 which contains a metal ion by using as a work piece 71 the substrate for plating formation in which opening was formed, connects between anode plates 72 with an external power 74, and forms a deposit in a sink and opening 54 for a current. By this, as first shown in drawing 5 (c), a deposit 55 is formed in opening 54. Under the present circumstances, it is made for a flow of the plating liquid 73 near the opening not to occur during plating. If the minute opening 54 has a flow of plating liquid near the opening in case plating growth is carried out, the plating growth rate of the downstream will increase compared with the upstream of a flow, and a deposit will grow asymmetrically to a slit-like opening core. Therefore, since the deposit which becomes unsymmetrical cannot be used for metal mold, it is made this appearance.

[0047] As an approach of making it a flow of plating liquid 73 not occur, the approach which does not agitate a plating bath is during plating. There is a method of preparing a mesh which diffusion of plating liquid is performed near the substrate, and checks a flow as other approaches. Especially the method of not ****(ing) is simple. The approach of not ****(ing) was used in this example.

[0048] When plating, a substrate may curve with the internal stress of a deposit, and the thermal stress produced in order to raise the temperature of a plating bath and to perform electroplating. The Young's modulus and yield stress of resin have the difference of 4 or more figures small compared with a metal or an inorganic substance. this -- a conductor, a deposit, and abbreviation -- in the mask layer which consists of resin of comparable thickness, metal mold will curve easily. Moreover, since there is a problem swollen by the plating bath not only by stress but by resin, when using resin for a mask layer, it is good to make a mask layer thin compared with the thickness of the substrate which has a conductive substrate or an electrode layer.

[0049] As are shown in drawing 5 (c) and the metal ion under plating bath 73 shows drawing 5 (d) by a deposit 55 being formed in opening 54 of electrochemical reaction, and continuing plating further, a deposit spreads also on the 53rd page of a mask layer.

[0050] If it plates to the minute opening 54 in the plating liquid 73 containing a metal ion, the metal ion in plating liquid will focus on a deposit, the deposit of plating will advance isotropic as a growth direction, and the semicircle tubed structure 56 will be formed. The dimension of opening 54 is small

compared with an anode plate, and since the metal ion is dissolving into plating liquid 73 uniformly, plating growth becomes isotropic.

[0051] Here, as optical waveguide to produce, the range of that width of face is several micrometers to several 10 micrometers, and, for this reason, it is necessary to make aperture width of a slit (opening 54) smaller than desired optical waveguide width of face. It is possible to control plating time amount and plating temperature by electroplating, and to control plating layer thickness by it easily.

[0052] The main things which will be used if it is the ingredient in which other electroplating is possible although nickel, Au, Pt, Cr, Cu, Ag, Zn, etc. have Cu-Zn, Sn-Co, nickel-Fe, Zn-nickel, etc. with an alloy with a single metal as a plated metal are possible. Especially nickel, Cr, and Cu are the point which can do bright plating easily, and are desirable as a plating ingredient.

[0053] Moreover, distributed plating by adding particulate materials, such as aluminum 2O3, and TiO2, PTFE, to a plating bath can also be used for formation of the partial cylindrical structure in electroplating. It becomes possible to improve the mechanical strength of metal mold, and corrosion resistance by the particulate material.

[0054] thus, the substrate top which has the formed partial cylindrical deposit -- optical waveguide -- public funds -- a mold is formed. As an approach of forming metal mold, the approach of applying as melting or dissolved liquid is also about the ingredient used as metal mold, and hardening is used on the substrate which has a partial cylindrical deposit. At this time, each good ingredient of the detachability of a metal mold ingredient and a deposit is chosen. The metal mold for optical waveguides can be formed by exfoliating.

[0055] As other approaches of forming the metal mold for optical waveguides, electroplating liquid is changed and other plating ingredients are deposited on the partial cylindrical structure 56 of drawing 5 (d), it plates until it forms the film which continued on the substrate, and there is the approach of forming metal mold. Exfoliation of this approach chooses the good ingredient of detachability as a metal mold ingredient and a deposit, and exfoliates in them. or -- or [any, such as a substrate, a mask layer, and a deposit,] -- each etchant -- etching removal -- carrying out -- optical waveguide -- public funds -- it carries out by leaving a mold. In this case, the metal mold ingredient which has etching resistance in said etchant is chosen.

[0056] As an approach of exfoliating, there is the other approach of introducing a sacrifice layer. The metal mold for optical waveguides is formed by electroplating. By this approach, as shown in drawing 5 (e), the sacrifice layer 57 is formed on a substrate. Next, the electrode layer 58 for metal mold for electroplating is formed. Electroplating is performed in the plating liquid containing a metal ion by using this electrode layer 58 for metal mold as cathode, and metal mold 61 is formed (drawing 6 (a)). The metal mold 61 which has the electrode layer 58 for metal mold, and the substrate 51 which has a deposit 56 can exfoliate by carrying out etching removal of the sacrifice layer 57 next (drawing 6 (b)). Next, metal mold can be formed by carrying out etching removal of the electrode layer 58 for metal mold (drawing 6 (c)).

[0057] Although the electrode layer 58 for metal mold was removed from drawing 5 by the production flow of drawing 6 , an optical waveguide side is polluted with molding by the electrode layer 58 for metal mold at the process which forms optical waveguide, or if problems, like the yield stress of the electrode layer for metal mold is small, and a blemish tends to be attached do not occur, it is not necessary to remove the electrode layer 58 for metal mold.

[0058] Although the sacrifice layer 57 was formed on the deposit 56 and the mask layer 53 in the production flow of drawing 6 from drawing 5 , it is the process of sacrifice layer removal of not forming the sacrifice layer 57, but using the electrode layer 58 as a sacrifice layer, and resulting in (b) from drawing 6 (a), and even if it carries out etching removal of the electrode layer 58, ** which forms the metal mold 61 of drawing 6 (c) is possible.

[0059] the production approach explained above -- the optical waveguide of this example -- public funds -- it becomes possible to produce a mold.

[0060] Next, the production approach of optical waveguide is explained. Here, the optical waveguide which consists of resin is explained. the optical waveguide obtained at the process mentioned above as

shown in drawing 6 (d) -- public funds -- after applying resin 62, carrying the support substrate 63 from resin 62 subsequently on a mold 61 and resin's acquiring a uniform flat surface, it hardens according to the hardening conditions of the used resin. Heat-curing resin, ultraviolet-rays hardening resin, and electron ray hardening resin are stiffened by heating, UV irradiation, electron beam irradiation, etc., respectively. Light is irradiated from the rear-face side of optical waveguide in the case of UV irradiation. For this reason, in using the support substrate 63, it uses the support substrate which carries out light transmission.

[0061] At the time of hardening, air bubbles are made not to be formed. When applying resin, it is good to perform degassing. After hardening, resin 62 exfoliates from metal mold 61, and optical waveguide is formed. Although the resin of the hardened partial cylinder object serves as an optical waveguide core, the support substrate itself may be used as a clad, and the cladding layer of beforehand sufficient thickness for a support substrate is formed, and the core by resin shaping may be formed. under the present circumstances, a cladding layer -- a core -- low -- a refractive index ingredient is chosen. A support substrate may use it from optical waveguide, exfoliating.

[0062] The ingredient in which light transmission is possible is used in the wavelength field of the light which luminescence or the photo detector used as optical waveguide using optical waveguide as resin uses. When producing optical waveguide by the above-mentioned approach, compared with the conventional technique, the limit to the ingredient of optical waveguide and a support substrate can be lessened. If the glass fused instead of resin is used, the optical waveguide of glass is producible.

[0063] According to the production approach of the optical waveguide of [2nd example] this invention, it can perform easily forming the optical waveguide which has the pattern configuration of arbitration. For example, if it forms by the pattern which bent plating opening of the shape of a slit which produces the metal mold for optical waveguides, the optical waveguide 81 of L typeface which can bend the propagation of guided wave light as shown in drawing 8 will be produced. Thanks to isotropic plating growth, the ups-and-downs section 82 of optical waveguide serves as nothing and a curved-surface corner of total reflection in a partial spherical-surface object thru/or the configuration near it. Therefore, guided wave light carries out ups-and-downs propagation, without losing in dispersion or transparency.

[0064] Similarly, according to the plating metal mold which formed and produced the slit of a Y shape, optical branching / unification waveguide 91 of a Y shape as shown in drawing 9 is formed. Like the example of drawing 8 , the amount of flection is smooth and the scattering loss of the guided wave light by branching becomes very small.

[0065] Drawing 10 is the mimetic diagram of the metal mold of the optical unification machine of many inputs. It is that the field 104 which is thin as for the optical waveguide sections 102 and 103 before unification and after unification, and serves as slab optical waveguide makes large the pattern 101 of opening of the mask which deposits plating, and formation of the optical waveguide metal mold which has the two-dimensional configuration of arbitration is performed.

[0066] Drawing 11 is the example which carried out the rectangular crossover of the optical waveguide 111. Like this example, when rectangular arrangement of the optical waveguide is carried out, even if guided wave light spreads in an intersection 112 (this part also becomes a smooth surface configuration enough), optical waveguide HE of the direction which intersected perpendicularly is emitted without almost joining together, in order not to fulfill total reflection conditions. Therefore, although some insertion loss is accepted by the intersection 112, propagation of light is not concerned with the existence of a crossover, but is performed in the rectilinear-propagation direction. The orthogonality of such propagation signals is an impossible thing in electric wiring.

[0067] As mentioned above, according to this invention, it is possible to draw the pattern of arbitration as optical waveguide, and die pressing of the optical waveguide ingredient is carried out, and it is carried out, and moreover, since it can form, it is efficiently employed in various application as optical waveguides the object for a communication link using light, the object for INTAKONEKUSHON, the object for measurement, for record, etc.

[0068] The optical waveguide used by [3rd example] this example is explained using again drawing 5 and the making process Fig. of drawing 6 .

[0069] It oxidizes thermally using oxidization gas and Si wafer of 6 inch phi with which Si thin film of 1-micrometer thickness was formed in both sides is used as a substrate 51 shown in drawing 5 . With the electron beam vacuum deposition which is one of the thin film forming methods, Cr and Au are formed in succession 10nm 200nm respectively, and the electrode layer 52 is formed in this wafer.

[0070] Next, spin spreading of all the aromatic polyamide acid solutions is carried out, and the mask layer 53 which heat-treats and consists of polyimide film is formed. A photoresist is applied, exposed and developed by the photolithography, opening is prepared, and etching removal of the mask layer 53 of opening of a photoresist is carried out by reactive ion etching using oxygen. In this way, the electrode layer 52 is exposed and opening 54 is formed.

[0071] Then, a photoresist is exfoliated. Opening 54 is carrying out the shape of a slit, and the width of face is about 2 micrometers. As shown in drawing 7 , nickel plating is performed by using the electrode layer 52 as cathode using nickel plating bath 73 which consists of a nickel sulfate, a nickel chloride, boric acid, and a brightener by 50 degrees C of bath temperature, and cathode-current-density 5 A/dm², using this wafer as a work piece 71. nickel plating,deposits from opening 54 first, it grows up, and a deposit spreads also on the mask layer 53. In this way, the deposit 56 of the semicircle tubed structure shown in drawing 5 (d) was formed. In this case, plating was deposited until the width of face of a partial cylinder object was set to 10 micrometers. Under the present circumstances, if the thing of the magnitude of several centimeter angle is used as an anode plate 72, this will be a numeric value sufficiently large although isotropic plating is realized to width of face of about 2 micrometers of opening 54.

[0072] next, the ordinary pressure CVD (Chemical Vapor Deposition) -- by law, 1 micrometer (phospho-silicate glass) of PSGs is formed at 350 degrees C, and the sacrifice layer 57 is formed (drawing 5 (e)). Then, with electron beam vacuum deposition, Ti and Au are continuously formed by 10nm and 200nm thickness, respectively, the electrode layer 58 for metal mold is formed, and the metal mold for the metal mold of drawing 5 (e) is formed.

[0073] Said nickel plating bath performs nickel plating by using the electrode layer for metal mold as cathode by 50 degrees C of bath temperature, and cathode-current-density 5 A/dm², using this metal mold as a work piece, and metal mold 61 is formed (drawing 6 (a)). Next, the substrate of drawing 6 (a) was able to be immersed in the mixed water solution of fluoric acid and ammonium fluoride, etching removal of the PSG which is the sacrifice layer 57 was able to be carried out, and a substrate 51 and metal mold 61 were able to be exfoliated (drawing 6 (b)). At this time, Ti of the electrode layer 58 for metal mold is also removed by coincidence. next -- Au of the electrode layer 58 for metal mold -- the mixed water solution of iodine and a potassium iodide -- etching removal -- carrying out -- optical waveguide -- public funds -- a mold is formed (drawing 6 (c)).

[0074] the substrate after exfoliation being the configuration of having the semicircle tubed structure 56 shown in drawing 5 (d), and performing the process of drawing 5 (e) and drawing 6 -- again -- optical waveguide -- public funds -- it becomes possible to produce a mold.

[0075] In the production approach of the metal mold for optical waveguides of this example, since metal mold can be formed by electroplating, two or more metal mold of the same configuration can be formed. It is possible for the original edition to form the metal mold itself with metal mold (master) by this example to that of ***** at one sheet, and to form it by the conventional metal mold formation approach, using a sacrifice layer process. [two or more] Thereby, much more low cost-ization can be attained.

[0076] Next, as shown in drawing 6 (d), the resin 62 which consists of a photopolymer which carries out ultraviolet curing is dropped at metal mold 61, the glass substrate used as the support substrate 63 is carried on it, subsequently ultraviolet rays are irradiated, and resin 62 is stiffened. From a glass substrate 63, since a photopolymer 62 is a high refractive index, it functions as an optical waveguide core. Moreover, a part of metal membrane for mounting the light emitting device, photo detector, and IC chip which are described below in a glass substrate 63 is formed. Moreover, although the glass substrate was used here, it is transparent similarly, and if it is ingredients with enough reinforcement, it can be used as a substrate used for this example.

[0077] Next, production of the light emitting device and photo detector which are combined with the optical waveguide like the above is explained. Here, as a light emitting device, the surface emission-type laser of 0.8-micrometer band was used, and pin photo diode was used as a photo detector.

[0078] In drawing 12, the surface emission-type laser chip 1201 has the following structures. on the GaAs substrate 1202, the one-wave resonator which consists of an AlGaAs/GaAs quantum well barrier layer 1203 and an AlGaAs spacer layer is inserted by DBR (distribution Bragg reflection) Miller 1204 and 1205 who consists of the multilayers (about 20-30 sets) of the quarter-wave length thickness of AlAs/AlGaAs -- as -- MOVPE (organic metal vapor growth) -- it has structure which grew epitaxially by law etc. In order to perform a current constriction to a luminescence field, it etches to a barrier layer 1203 in the shape of a circular ring, and current constriction structure is formed. And the electrode is formed, after embedding and carrying out flattening of the crevice with polyimide and forming and carrying out window opening of the insulator layers, such as SiNx.

[0079] Although the luminescence field of a surface emission-type laser of the laser chip size in this example is 10micrometerphi and the whole chip was used as 2mm angle, of course, size can be designed freely. However, in this example, since the AlGaAs/GaAs barrier layer 1203 with a band gap wavelength of 0.83 micrometers is grown epitaxially on a GaAs substrate, the GaAs substrate 1202 will become an absorber. Then, etching removes and window region 1206 is formed until DBR Miller 1204 exposes the GaAs substrate 1202, and it is considering as the structure which can take out light from a substrate 1202 side.

[0080] The electrode pad 1208 corresponding to a surface emission-type laser 1201 is formed in the Si substrate 1207 which mounts a laser chip, and the laser drive transistor 1209 is also accumulated on it. The wiring 1208 on the Si substrate 1207 is formed by plating of Cu/nickel/Au etc., and the pewter is too formed in the electrode pad section by plating etc. By carrying out alignment of the electrode pad 1208 on the polar zone on the laser chip 1201, and the Si substrate 1207, and heating it, the electric junction between both is acquired simply.

[0081] In addition to the means using a pewter, this electric junction also has [supersonic wave / sticking by pressure or] the approach of joining applying in Au electrodes. Moreover, the anisotropic conductive adhesives containing an electric conduction particle may be applied and heated [pressurize and]. In this case, if Au wiring is formed by plating and made into the thickness of 10 micrometers or more, the anisotropy of adhesives can be pulled out, and junction of an electrode can be performed, taking the insulation with wiring which adjoins each other with the sufficient yield.

[0082] On the other hand, as shown in the receiving-side substrate 1210 at drawing 12, the pin mold photo diode 1211 is formed. the structure of photo diode 1211 -- drawing 12 -- outline **** -- it is like. That is, the n field 1212 used as a light sensing portion is formed in the p-(pi)-Si substrate 1210 by diffusion, the insulator layer 1213 of SiO₂ grade is formed, and the ring-like electrode 1214 and its wiring are formed. Electrode contact to the n field 1212 forms a through hole in an insulator layer 1213, and should just embed an electrode 1214. On the other hand, the p side forms p+ layer in a substrate rear face, and forms an electrode in the whole surface. The transistor 1215 for signal magnification is accumulated by the same substrate.

[0083] The transmitting-side substrate 1207 produced as mentioned above and the receiving-side substrate 1210 were mounted by this example on the metal membrane on the glass substrate 63 with which optical waveguide 62 was formed.

[0084] Drawing 13 and drawing 14 are optical INTAKONEKUSHON equipment 1301 containing the optical waveguide produced by this example and a light emitting device, and a photo detector. To compensate for arrangement of LSI chip 1302, each substrate in which the surface emission-type laser 1303 and photo diode 1304 for performing I (input)/O (output) with LSI1302 with light were formed is mounted in optical INTAKONEKUSHON equipment 1301. And optical waveguide 1305 is spread around optical INTAKONEKUSHON equipment 1301 rear face so that it may correspond to the close outgoing radiation location of a surface emission-type laser 1303 and photo diode 1304.

[0085] In order to make the vertical physical relationship intelligible at drawing 14, the sectional view of an outline is shown. The outgoing radiation light from a surface emission-type laser 1303 expresses

signs that it is transmitted to photo diode 1304 in the path 1401 by optical waveguide 1305. By mounting LSI chip 1302 in optical INTAKONEKUSHON equipment 1301 like drawing 13, data transfer during a chip can be performed to juxtaposition by making light into a signal at a high speed. [0086] The [4th example] The surface emission-type laser of 0.98-micrometer band was used for the light emitting device of this example. In drawing 15, a surface emission-type laser 1501 has the following structure. The laminating of the structure which sandwiches the one-wave resonator which consists of a distortion duplex quantum well barrier layer which consists of InGaAs/GaAs, and an AlGaAs spacer layer on the GaAs substrate 1502 by DBR Miller who consists of the multilayers of the quarter-wave length thickness of AlAs/AlGaAs is carried out. In order to perform a current constriction to the luminescence field 1503, after etching to near the barrier layer in the shape of a circular ring, flattening of the crevice is embedded and carried out with polyimide. Under the present circumstances, it etches, and selective oxidation only of the AlAs layer of the side face of DBR Miller who appeared may be carried out, and it may be further formed into a current constriction (you may make it the same also in the 3rd example). Since oscillation wavelength is 0.98 micrometers, the GaAs substrate 1502 can be made to penetrate in this example. Here, the aperture is opened in some electrodes 1504 so that the light from a surface emission-type laser 1501 can be emitted. Moreover, on the same substrate 1502, the shot key barrier mold FET (un-illustrating) is integrated, and it functions as a drive transistor of a surface emission-type laser.

[0087] Like the structure shown in drawing 15, the shot key barrier mold photo diode 1505 was used as a photo detector. Only by forming a Kushigata electrode 1506 like drawing 15 on a semi-conductor substrate, high sensitivity and a high-speed photodetector are obtained and this is called MSM (Metal-Semiconductor-Metal) photo diode. In this example, the GaAs buffer layer 1508 of undoping to the GaAs substrate 1507 of half-insulation is grown epitaxially to 1.5-micrometer thickness, after forming SiNx as an insulator layer 1509, window region is formed, and a Kushigata electrode 1506 like drawing 15 is produced. This MSM photo diode 1505 is produced like the 3rd example in the location corresponding to the optical output edge of each optical waveguide 1511.

[0088] The light emitting device and photo detector which were produced as mentioned above were mounted by the same technique as the 3rd example on Si wafer.

[0089] It continues and the production approach of optical waveguide is explained. As a substrate for plating, the quartz-glass substrate of a 6 inch angle was used. Here, nickel plating bath is used for the deposit. The dimension of a substrate and opening presupposed that it is the same as that of the 3rd example. Next, the sacrifice layer of drawing 5 (e) is not formed, but the electrode layer for metal mold which consists of Ti and Au is directly formed on the substrate (drawing 5 (d)) which has a deposit. Then, Au plating is performed by using the electrode layer for metal mold as cathode using the gold plate bath which consists of a gold cyanide potassium, a phosphoric acid-hydrogen potassium, a chelating agent, and a brightener by 40 degrees C of bath temperature, and cathode-current-density 1 A/dm², and the metal mold which consists of Au is formed. Thus, the metal mold of Au has been formed on the substrate which has a deposit.

[0090] Next, the exfoliation process of metal mold is explained. First, after the mixed water solution of fluoric acid and ammonium fluoride removes a substrate and the ion milling using Ar removes an electrode layer, it is immersed in a TMAH (Tetramethyl ammoniumhydroxide) water solution, and the mask layer of the polyimide film is removed. Thus, a substrate, an electrode layer, and a mask layer are removed and the metal mold with which the semicircle tubed structure was embedded is formed. When metal mold was finally immersed in the sulfuric-acid water solution heated at 80 degrees C, etching removal of the semicircle tubed structure of nickel plating was carried out and it was shown in drawing 6 (c), the same metal mold has been formed.

[0091] Next, all aromatic polyamide acid solutions are dropped and the cladding layer 1510 which consists of polyimide by heat-hardening through a spin coat is formed in up to Si wafer which mounted a surface emission-type laser 1501 and MSM photo diode 1505. Then, after applying all aromatic polyamide acid solutions that are different in a cladding layer 1510 on the above-mentioned metal mold and sticking by pressure and heat-hardening on a cladding layer 1510, the optical waveguide core 1511

was able to be formed by exfoliating metal mold. The polyimide used as a core is the ingredient of a high refractive index [cladding layer / 1510].

[0092] The good optical INTAKONEKUSHON equipment of the yield is realizable with this example with the compact which a light emitting device, a photo detector, an electronic circuitry, and optical waveguide unified.

[0093] The SOI (Silicon on Insulator) substrate is used for the 5th example by [5th example] this invention as a mounting substrate of an optical waveguide substrate and a light corpuscle child, and an electronic device. Like the 3rd and 4th examples, the optical output of a surface emission-type laser makes optical waveguide spread, and carries out photodetection with photo diode.

[0094] By drawing 16, the MSM photo diode 1604 is formed in the SOI substrate with which SiO₂1602 and the undoping Si layer (about 0.3 micrometers) 1603 were formed on the Si substrate 1601 like the 4th example. Moreover, the p diffusion layer 1605 is established for isolation, and the bipolar transistor 1606 is integrated as a driver for a surface emission-type laser drive. With this transistor 1606, the n diffusion layer 1607 is formed in the Si layer 1603, a collector electrode 1608 is formed, p mold diffusion layer 1609 is formed, a base electrode 1610 is formed, n mold diffusion layer 1611 is formed further, and the emitter electrode 1612 is formed.

[0095] In this example, it mounts to the SOI substrates 1601-1603 as a light emitting device using the surface emission-type laser chip 1613 which grew epitaxially and produced the AlGaAs/GaAs barrier layer with a band gap wavelength of 0.77 micrometers on a GaAs substrate. Window region 1615 is formed in an electrode 1614 for optical outgoing radiation. Moreover, in order to send and receive light from a SOI substrate rear face, ***** of some Si substrates 1601 (1616 1617) is etched and carried out to SiO₂1602.

[0096] The optical waveguide which consists of a clad 1618 and a core 1619 is formed in the SOI substrate rear face. Light will be used for some wiring in a chip when a direct integrated circuit is formed on the SOI substrate 1601-1603 of this example. Especially, between transistors with a long wiring distance, with detailed-izing of wiring, we are anxious about the fall of transmission speed, and increase of power consumption, and optical INTAKONEKUSHON becomes very effective. You may use as an optical interconnection during a chip or between boards not only like the inside of a chip but like the 1st example.

[0097] In the old example, although optical waveguide was formed in the substrate of immobilization, of course, it can form also in up to a flexible substrate or a sheet. Drawing 17 shows the example.

[0098] Optical waveguide 1702 is produced on the flexible sheet 1701, and they are boards 1703 and 1704 and the example which is performing INTAKONEKUSHON between 1705. Optical INTAKONEKUSHON is similarly performed through optical waveguide 1708 between MCM1706 in a board 1703 (multi chip module), and 1707.

[0099] Moreover, in the old example, as a light emitting device, although the example of the InGaAs/GaAs system on a GaAs substrate or an AlGaAs/GaAs system was shown, it is realizable that the same is said also of GaInNAs and GaAsSb which are a long wavelength ingredient on other ingredients, natural wavelength, i.e., the GaN system of blue luminescence, and a natural GaAs substrate. Since Si becomes transparent when using long wavelength regions, such as 1.3 micrometers and 1.55 micrometers, the photo detector which consists of ingredients, such as InGaAs or germanium, is suitable.

[0100] Moreover, although the surface emission-type laser was used as a light emitting device in the example given here, the configuration is possible also at an edge surface-emitting type laser. Of course, since light emitting diode LED (light emitting diode) is a surface-emitting type like a surface emission-type laser, it is a suitable light emitting device for this invention.

[0101]

[Effect of the Invention] As explained above, since the trailer of optical waveguide has a partial spherical-surface configuration thru/or a configuration near it low [propagation loss] in order to use partial cylinder-like optical waveguide, with the optical waveguide of this invention, its production approach, and the optical INTAKONEKUSHON equipment using this, optical waveguide with high

optical coupling effectiveness with a light emitting device and a photo detector is realizable.

[0102] Moreover, since the above-mentioned optical waveguide is produced using the mold produced with plating according to this invention, production is easy, formation of the size of arbitration is possible on the substrate of arbitration, and the optical waveguide which was excellent at mass-production nature can be produced. Furthermore, based on the optical waveguide by this invention, by combining with a light emitting device and a photo detector, it is simple and the optical INTAKONEKUSHON equipment of a high-speed broadband can be realized.

[Translation done.]

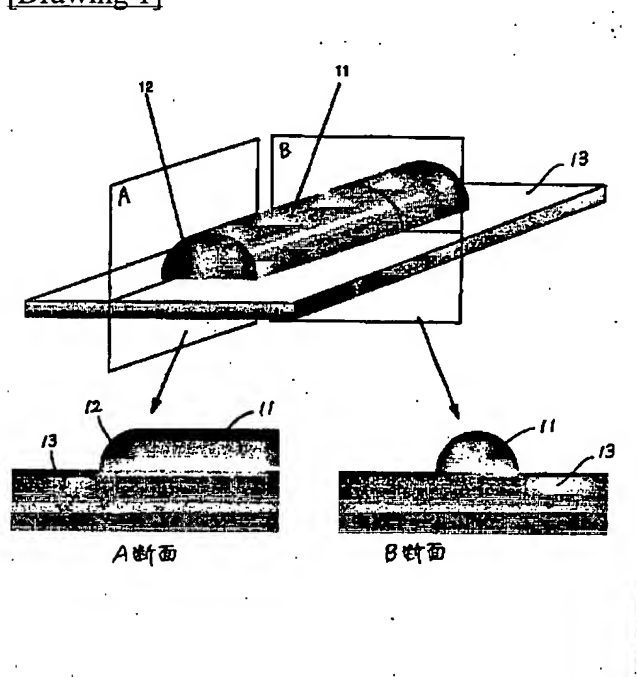
* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

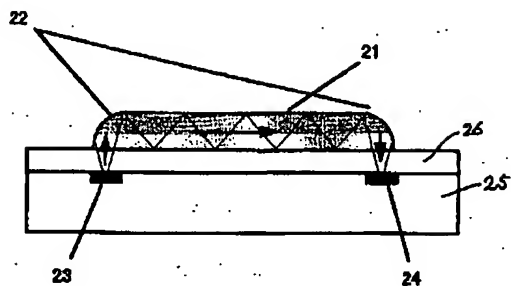
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

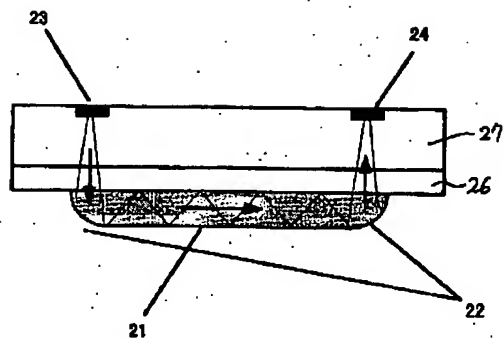
[Drawing 1]



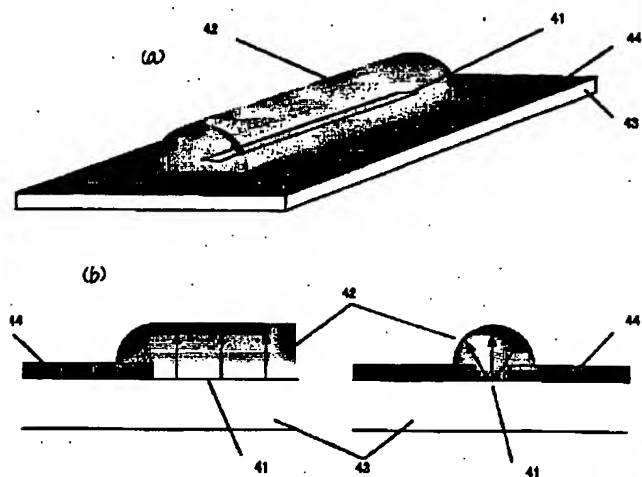
[Drawing 2]



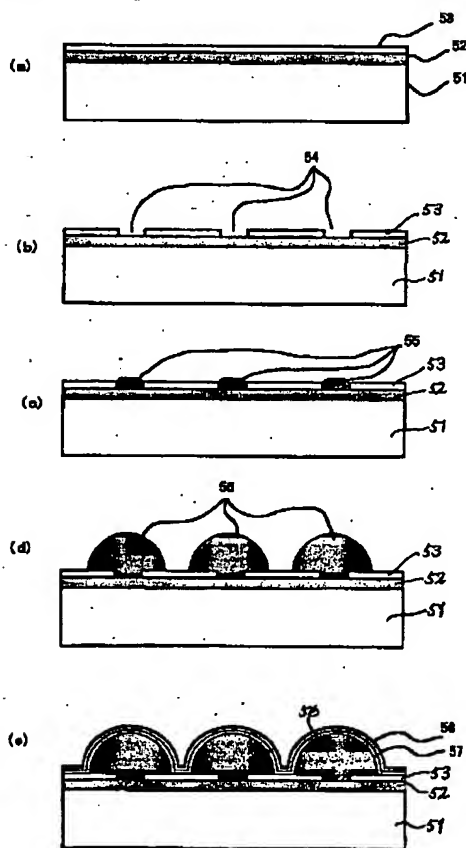
[Drawing 3]



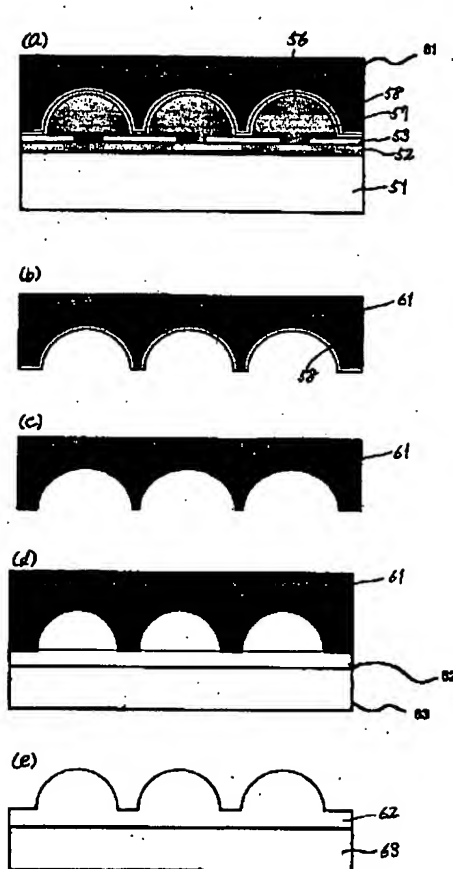
[Drawing 4]



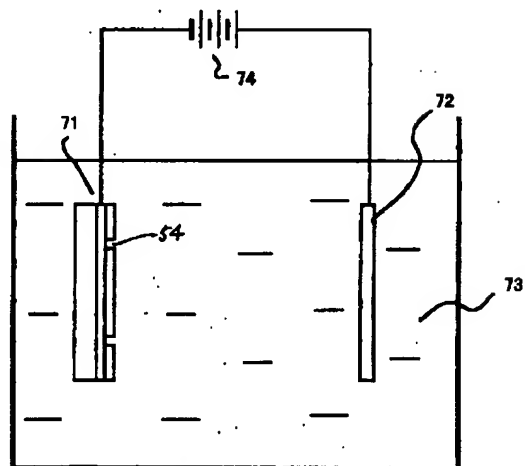
[Drawing 5]



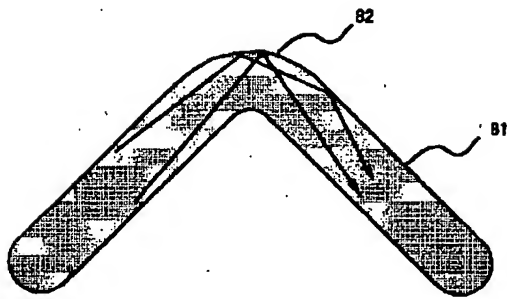
[Drawing 6]



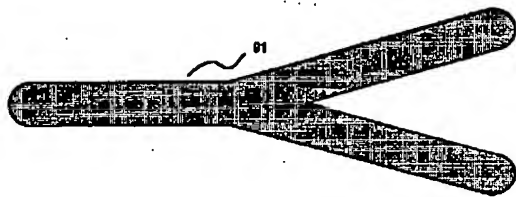
[Drawing 7]



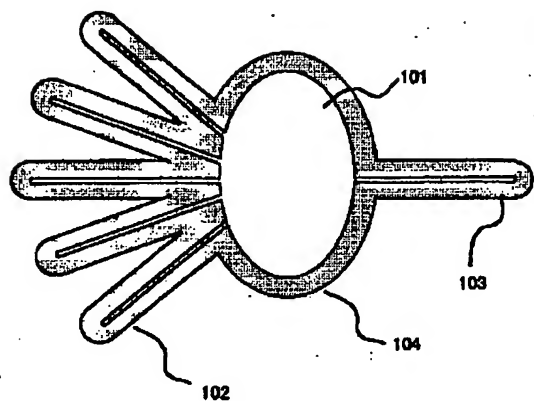
[Drawing 8]



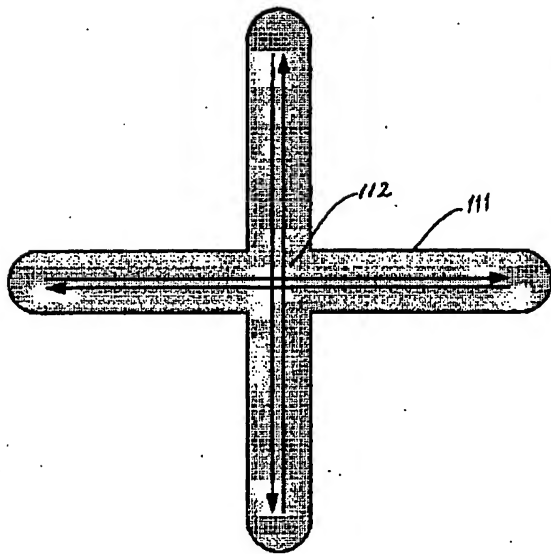
[Drawing 9]



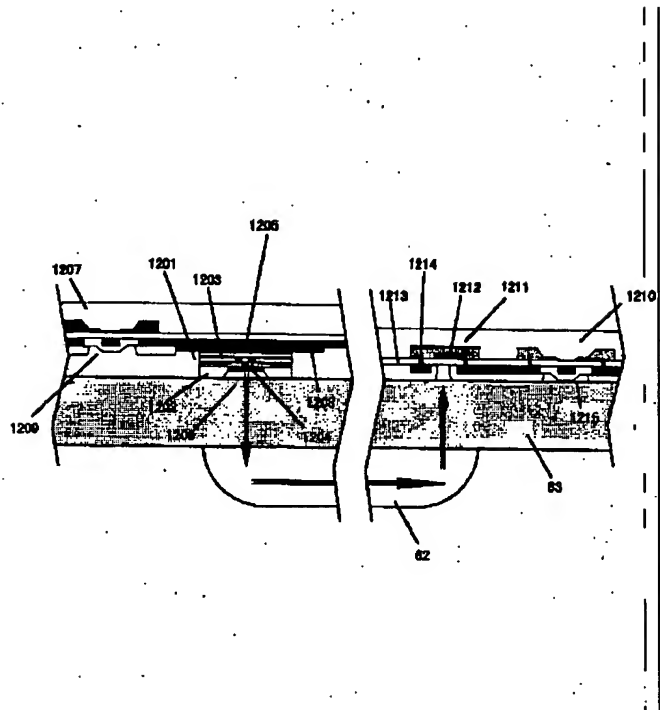
[Drawing 10]



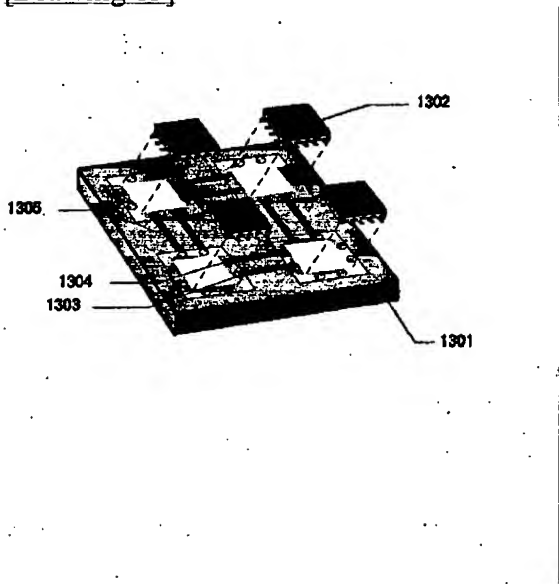
[Drawing 11]



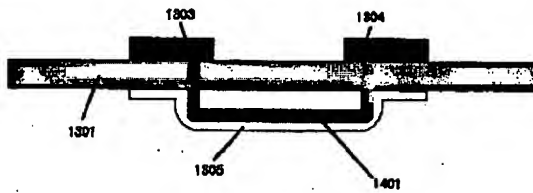
[Drawing 12]



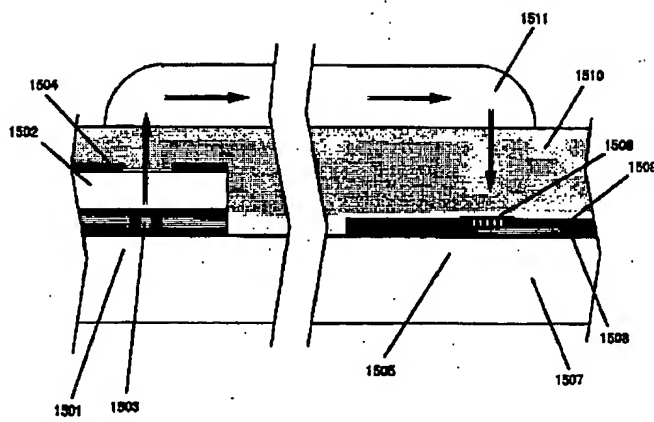
[Drawing 13]



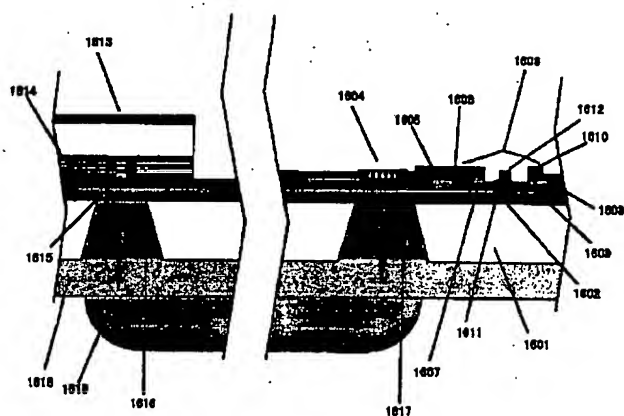
[Drawing 14]



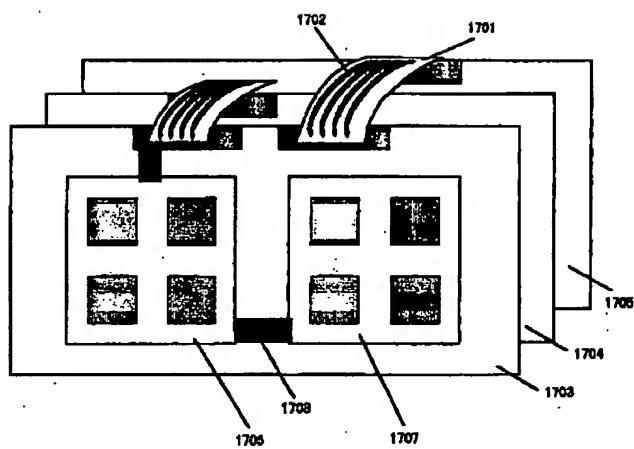
[Drawing 15]



[Drawing 16]



[Drawing 17]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-42150

(P2001-42150A)

(43) 公開日 平成13年2月16日 (2001.2.16)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テ-マ-ト (参考)

G 0 2 B 6/122

G 0 2 B 6/12

B 2 H 0 4 7

C 2 5 D 5/02

C 2 5 D 5/02

B 4 K 0 2 4

7/12

7/12

5 F 0 7 3

G 0 2 B 6/13

H 0 1 S 5/026

H 0 1 S 5/026

G 0 2 B 6/12

M

審査請求 未請求 請求項の数35 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号

特願平11-216193

(22) 出願日

平成11年7月30日 (1999.7.30)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 坂田 肇

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(72) 発明者 八木 隆行

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(74) 代理人 100086483

弁理士 加藤 一男

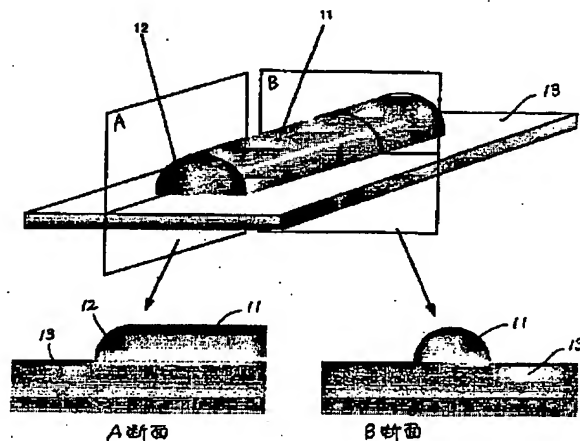
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路、その作製方法、およびこれを用いた光インタコネクション装置

(57) 【要約】

【課題】 伝播損失が低く、任意の基板上に形成が可能で、作製が容易である光導波路、その作製方法である。

【解決手段】 光導波路 11 は、伝播光の波長に対して透明な材料から成って長く伸びた形状を持つ部分円筒体の部分と、部分円筒体の部分と同じ材料から成りこれに滑らかに繋がった部分球面体ないしそれに近い曲面体形状の終端部 12 を有する。伝播光は、部分円筒体部分及び終端部の形状を画する境界面での全反射の繰り返して導波して行く。



(2)

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】伝播光の波長に対して透明な材料から成って長く伸びた形状を持つ部分円筒体の部分と、該部分円筒体の部分と同じ材料から成りこれに滑らかに繋がった部分球面体ないしそれに近い曲面体形状の終端部を有し、伝播光が該部分円筒体部分及び終端部の形状を画する境界面での全反射の繰り返して導波して行くことを特徴とする光導波路。

【請求項2】曲折部を有し、該曲折部の形状が2つの部分円筒体に滑らかに繋がった部分球面体ないしそれに近い曲面体をなしていることを特徴とする請求項1記載の光導波路。

【請求項3】交差部を有し、該交差部の形状が複数の部分円筒体に滑らかに繋がった部分球面体ないしそれに近い曲面体をなしていることを特徴とする請求項1記載の光導波路。

【請求項4】前記部分円筒体部分とそれに同材料で繋がった部分をコアとして、該コアより低屈折率の材料から成るクラッドが少なくとも部分的に該コアの前記境界面に密着して設けられていることを特徴とする請求項1、2または3記載の光導波路。

【請求項5】前記クラッドは、前記部分円筒体部分とそれに同材料で繋がった部分から成るコアの平面状の境界面に少なくとも部分的に密着して設けられた基板部を含むことを特徴とする請求項4記載の光導波路。

【請求項6】前記基板部に対して概ね垂直に前記終端部を介して入射する光をコアに結合し伝播する様に形成されていることを特徴とする請求項5記載の光導波路。

【請求項7】前記コアを伝播してきた光を前記基板部に対して概ね垂直に前記終端部を介して出射する様に形成されていることを特徴とする請求項5または6記載の光導波路。

【請求項8】前記光導波路を構成する材料が樹脂あるいはガラスよりなることを特徴とする請求項1乃至7の何れかに記載の光導波路。

【請求項9】前記光導波路が、樹脂板、ガラス板、石英板、あるいはSi、GaAs、InPなどの半導体基板上に設けられていることを特徴とする請求項1乃至8の何れかに記載の光導波路。

【請求項10】前記光導波路の形成される基板が可撓性を有することを特徴とする請求項9記載の光導波路。

【請求項11】請求項1乃至10の何れかに記載の光導波路を含む光インタコネクション装置であって、少なくとも前記終端部の如き光導波路の光入出力部が、発光素子あるいは受光素子の配置された基板上部あるいは下部に形成されていることを特徴とする光インタコネクション装置。

【請求項12】前記発光素子は、半導体結晶で構成され、活性層の両側に反射ミラーを備えた面発光レーザであることを特徴とする請求項11記載の光インタコネ

2

クション装置。

【請求項13】前記発光素子は、半導体結晶で構成され、pn接合もしくはpin接合からなる発光ダイオードであることを特徴とする請求項11記載の光インタコネクション装置。

【請求項14】前記受光素子は、半導体結晶で構成され、pinホトダイオードであることを特徴とする請求項11、12または13記載の光インタコネクション装置。

10 【請求項15】前記受光素子は、半導体結晶で構成され、MSM (Metal-Semiconductor-Metal) 型光検出器であることを特徴とする請求項11、12または13記載の光インタコネクション装置。

【請求項16】前記発光素子は、発光素子の駆動や制御の電子回路が集積化された半導体基板上に一体化されていることを特徴とする請求項11乃至15の何れかに記載の光インタコネクション装置。

20 【請求項17】前記受光素子は、受光素子の増幅や制御の電子回路が集積化された半導体基板上に一体化されていることを特徴とする請求項11乃至16の何れかに記載の光インタコネクション装置。

【請求項18】前記光導波路が、半導体回路チップを互いに光配線することを特徴とする請求項11乃至17の何れかに記載の光インタコネクション装置。

【請求項19】前記光導波路が、半導体回路チップの複数実装されたチップモジュール間を光配線で繋ぐ様に形成されていることを特徴とする請求項11乃至17の何れかに記載の光インタコネクション装置。

30 【請求項20】前記光導波路が、半導体回路チップおよびチップモジュールの混在して実装されたボード内の光配線を行っていることを特徴とする請求項11乃至17の何れかに記載の光インタコネクション装置。

【請求項21】前記光導波路が、半導体回路チップないしチップモジュールの実装されたボード間を繋ぐ様に形成されていることを特徴とする請求項11乃至17の何れかに記載の光インタコネクション装置。

【請求項22】請求項1乃至10の何れかに記載の光導波路または請求項11乃至21の何れかに記載の光インタコネクション装置の光導波路が、金型を使って型押しで作製されることを特徴とする光導波路の作製方法。

40 【請求項23】請求項1乃至10の何れかに記載の光導波路または請求項11乃至21の何れかに記載の光インタコネクション装置の光導波路の作製方法であって、少なくとも部分的に導電性部分を有するメッキ用基板を用い、(1)前記基板の導電性部分上に絶縁性マスク層を形成する工程、(2)前記マスク層に適当なパターンを持つスリット状の開口部を形成する工程、(3)前記メッキ用基板を陰極として電気メッキにより、開口部を通じて開口部及びマスク層上にメッキ層を形成する工程、

50

(3)

3

(4) 前記メッキ層を形成した基板に金型を形成する工程、(5) 前記金型を前記基板より剥離する工程、

(6) 前記金型を用いて光導波路材料を型取りする工程を有することを特徴とする光導波路の作製方法。

【請求項24】前記工程(3)において、電気メッキによりメッキ層が開口部を中心に等方的に成長することを特徴とする請求項23記載の光導波路の作製方法。

【請求項25】前記工程(3)において、メッキ時間、メッキ温度を制御してメッキ層の部分円筒体の大きさを制御することを特徴とする請求項23または24記載の光導波路の作製方法。

【請求項26】前記工程(3)において、メッキ層を形成した後に、犠牲層を形成する工程を含むことを特徴とする請求項23、24または25記載の光導波路の作製方法。

【請求項27】前記工程(4)において、金型をメッキにより形成することを特徴とする請求項23乃至26の何れかに記載の光導波路の作製方法。

【請求項28】前記工程(5)において、金型をメッキ用基板より剥離する工程が前記犠牲層を除去することにより行なわれることを特徴とする請求項26または27記載の光導波路の作製方法。

【請求項29】前記工程(5)において、金型をメッキ用基板より剥離する工程が、基板、メッキ層を順次エッチング除去することにより行なわれることを特徴とする請求項26または27記載の光導波路の作製方法。

【請求項30】前記メッキ用基板としてSiウエハを用いることを特徴とする請求項23乃至29の何れかに記載の光導波路の作製方法。

【請求項31】前記マスク層がフォトリソグラフィにより形成されることを特徴とする請求項23乃至30の何れかに記載の光導波路の作製方法。

【請求項32】前記スリット状開口部が光導波路のデザインに合わせたパターンで形成されることを特徴とする請求項23乃至31の何れかに記載の光導波路の作製方法。

【請求項33】前記光導波路を構成する材料が樹脂あるいはガラスよりなることを特徴とする請求項22乃至32の何れかに記載の光導波路の作製方法。

【請求項34】前記光導波路が、樹脂板、ガラス板、石英板、あるいはSi、GaAs、InPなどの半導体基板上に設けられることを特徴とする請求項22乃至33の何れかに記載の光導波路の作製方法。

【請求項35】前記光導波路の形成される基板が可撓性を有することを特徴とする請求項22乃至34の何れかに記載の光導波路の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、発光素子及び受光素子との集積化に適した光導波路、その作製方法、およ

4

びこれを用いた光インタコネクション装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光導波路は、線幅数 μm から数 $10\mu\text{m}$ の透過性の高い材料から構成され、光の伝播のみならず、光の合流／分岐の機能や、波長フィルタあるいは合波／分波や、光の強度や位相を変調したりといった様々な機能を実現できる。このため、光通信システムや光インタコネクション等の光を用いた情報伝送や光メモリなどの情報処理の分野に幅広い応用が期待されている。

【0003】光導波路を介して光送信を行うための発光素子として、最近では、基板垂直方向に発光し、低閾値で、しかもアレイ化の容易な面発光レーザの開発が進んでいる。また、レーザではないが、LED(発光ダイオード)も低コストで実装の容易な発光素子として広く使われている。こういった面出射タイプの発光素子は、もともと面で受光する形態のホトダイオード等の受光素子と形態が似ているため、構成上、組合せ適合性も良く、ボードとボードの間、ボード内のモジュール同士、あるいは、LSIチップ同士などを接続する光インタコネクション(光配線もしくは光接続と同義)への応用が注目されている。

【0004】このような理由で、ガラス基板、石英基板、樹脂基板などに限らず、Siウエハ、SOI(Semiconductor on Insulator)ウエハ、あるいは、GaAsやInPといった化合物半導体ウエハなどへも自由に形成が可能で、量産性の高い光導波路の要求が高まっている。無論、光導波路の基本的性能として、伝播損失が低いこと、発光素子や受光素子との結合が容易で、挿入損失が低いことが求められていることは言うまでもない。また、エレクトロルミネッセンス(EL)やLED等を活用した自発光型ディスプレイ装置や読み取り装置においても、光導波路の活用が提案されている。さらに、今後、期待される超並列処理／演算といった新しい光情報処理分野においても、光による情報や信号の転送において、光導波路は要求されるものである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】従来、代表的な光導波路及びその作製方法としては、 SiO_2 や LiNbO_3 などの基板中に選択マスクを通して金属イオンなどの拡散により屈折率変化を与えたり、あるいはエッチングにより凸型形状を表面に形成していた。また、Siウエハ上に SiO_2 膜を形成して導波路を作製する方法も知られている。最近では、PMMAやポリイミドなどの樹脂を塗布して、直接あるいはホトリソグラフィ等のパターンニングを通して、光導波路形状を作り込む方法も行われている。

【0006】このように、従来の方法では、基板上にホトリソグラフィで光導波路を形成することが一般的であ

50

(4)

5

った。その結果、光導波路断面は、矩形あるいは台形となるのが通常であった。また、エッチングで光導波路を作製した場合、光導波路側面が少なからず荒れて伝播損失の要因となっていた。さらに、光導波路を発光素子あるいは受光素子と光結合させるために、光導波路端面に対して発光素子あるいは受光素子を精密なアライメントのもとに、実装を行っていた。實際上、結合効率を向上させるため、1ないし2個のレンズを間に用いることも一般的である。また、光導波路に対して発光／受光素子が上に位置する場合、光導波路端面に45度の傾斜をつけてミラーとしたり、グレーティングカップラを形成して、光結合を図っていた。しかしながら、これらの手法は、いずれも、作製工程が煩雑であり、且つ、十分な結合効率を安定に得るには至っていない。

【0007】また、光導波路を使った光インタコネクションの例として特開平06-45584号公報に開示されたものがある。これは、光導波路を用いて集積回路内の光配線を行っているが、光導波路は矩形状であり、垂直方向に発光／受光素子との光結合を行う光導波路端部は斜めの傾斜面となっている。そのため、導波光を集光するためのレンズを別個形成する必要があった。また、光導波路の作製方法は従来方法によるため、光導波路を形成する基板に制限があった。

【0008】本発明は、上記従来技術の有する問題点に鑑み成されたものであり、その目的は、(1)伝播損失が低く、(2)発光素子、受光素子との光結合効率の高い光導波路であり、(3)任意の基板上に形成が可能で、(4)作製が容易で且つ制御性の高い、(5)低コスト化可能な光導波路、その作製方法を提供することである。さらには、この光導波路と発光素子、受光素子との組合せで、簡便で高速広帯域の光インタコネクション装置を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段と作用】上記目的を達成するために、本発明の光導波路は、伝播光の波長に対して透明な材料から成って長く伸びた形状を持つ部分円筒体（円筒体を中心軸に平行な面で切った形状を本明細書ではこう呼ぶ）の部分と、該部分円筒体の部分と同じ材料から成りこれに滑らかに繋がった部分球面体（球体を適当な面で切った形状を本明細書ではこう呼ぶ）ないしそれに近い曲面体形状の終端部を有し、伝播光が該部分円筒体部分及び終端部の形状を画する境界面での全反射の繰り返しで導波して行くことを特徴とする。この基本構成では、図1に示す様に、本発明の光導波路11は、光の伝播方向に典型的には半円筒状の部分円筒体をしており、光入出力部（典型的には光導波路終端部）12は部分球面形状或はそれに近い形状をなしている。円筒面は滑らかなため、側面の比較的荒れた矩形光導波路と比べて、伝播損失が低い特徴を持つ。且つ、光導波路終端が球面形状の如き形状をなすため、たとえば図2および図

6

3に示すように、光導波路21の光入出力部22の該形状が凹面ミラーとして働き、基板部26に垂直に入出射する発光素子23や受光素子24との光結合が容易に行えるようになる。尚、図1、図2、図3において、基板部層（クラッド）13、26は光導波路（コア）11、21より小さい屈折率を有する材料から成る。

【0010】上記基本構成に基づいて、以下の如き好適な形態が可能である。光導波路が曲折部を有し、該曲折部の形状が2つの部分円筒体に滑らかに繋がった部分球面体ないしそれに近い曲面体をなしていたり、交差部を有し、該交差部の形状が複数の部分円筒体に滑らかに繋がった部分球面体ないしそれに近い曲面体をなしていたりする。

【0011】また、前記部分円筒体部分とそれに同材料で繋がった部分をコアとして、該コアより低屈折率の材料から成るクラッドが少なくとも部分的に該コアの前記境界面に密着して設けられている。

【0012】また、前記クラッドは、前記部分円筒体部分とそれに同材料で繋がった部分から成るコアの平面状の境界面に少なくとも部分的に密着して設けられた基板部を含む（図1乃至図3参照）。

【0013】また、前記基板部に対して概ね垂直に前記終端部を介して入射する光をコアに結合し伝播する様に形成されていたり、前記コアを伝播してきた光を前記基板部に対して概ね垂直に前記終端部を介して出射する様に形成されている。

【0014】光導波路を構成する材料は樹脂あるいはガラスよりなり得、また、光導波路は、樹脂板、ガラス板、石英板、あるいはSi、GaAs、InPなどの半導体基板上に設けられ得る。この場合、光導波路の形成される基板が扱い易い様に可撓性を有し得る。

【0015】上記目的を達成するために、本発明の光インタコネクション装置は、上記光導波路を含む光インタコネクション装置であって、少なくとも前記終端部の如き光導波路の光入出力部が、発光素子あるいは受光素子の配置された基板上部あるいは下部に形成されていることを特徴とする。

【0016】この構成において、発光素子は、半導体結晶で構成され、活性層の両側に反射ミラーを備えた面発光レーザであったり、半導体結晶で構成され、pn接合もしくはpin接合からなる発光ダイオードであったりする。

【0017】受光素子は、半導体結晶で構成され、pinホトダイオードであったり、半導体結晶で構成され、MSM (Metal-Semiconductor-Metal) 型光検出器であったりする。

【0018】また、発光素子は、発光素子の駆動や制御用の電子回路が集積化された半導体基板上に一体化されていたり、受光素子は、受光素子の増幅や制御用の電子回路が集積化された半導体基板上に一体化されていたり

(5)

7

する。

【0019】この光インタコネクション装置において、光導波路が、半導体回路チップを互いに光配線したり、半導体回路チップの複数実装されたチップモジュール間を光配線で繋ぐ様に形成されていたり、半導体回路チップおよびチップモジュールの混在して実装されたボード内の光配線を行っていたり、半導体回路チップないしチップモジュールの実装されたボード間を繋ぐ様に形成されていたりする。

【0020】上記目的を達成するために、本発明の光導波路の作製方法は、上記の光導波路が、金型を使って型押しで作製されることを特徴とする。また、少なくとも部分的に導電性部分を有するメッキ用基板を用い、

(1) 前記基板の導電性部分上に絶縁性マスク層を形成する工程、(2) 前記マスク層に適当なパターンを持つスリット状の開口部を形成する工程、(3) 前記メッキ用基板を陰極として電気メッキにより、開口部を通じて開口部及びマスク層上にメッキ層を形成する工程、

(4) 前記メッキ層を形成した基板に金型を形成する工程、(5) 前記金型を前記基板より剥離する工程、

(6) 前記金型を用いて光導波路材料を型取りする工程を有することを特徴とする。

【0021】上記の工程を有する光導波路の作製方法は、以下の如きより具体的な形態を採り得る。

【0022】前記工程(3)において、電気メッキによりメッキ層が開口部を中心に等方的に成長する様に調整されたり、メッキ時間、メッキ温度を制御してメッキ層の部分円筒体の大きさを制御したりし得る。

【0023】また、前記工程(3)において、メッキ層を形成した後に、犠牲層を形成する工程を含み得る。この場合、金型をメッキ用基板より剥離する工程が犠牲層を除去することにより行なわれる。

【0024】また、前記工程(4)において、金型をメッキにより形成し得る。金型をメッキ用基板より剥離するのは、基板、メッキ層を順次エッチング除去することによっても行なわれ得る。

【0025】前記メッキ用基板としてはSiウエハなどを用い得、また、前記マスク層はフォトリソストよりなり得る。

【0026】前記スリット状開口部は光導波路のデザインに合わせたパターンで形成され得る。

【0027】この様に、本発明の光導波路は、以下で説明する部分円筒体構造の作製方法を用いて作製した部分円筒体凹部を有する基板を光導波路用金型として用いることにより作製される。このことを、より詳細に説明する。

【0028】本発明の光導波路は、図4(a)に示すようなスリット状(例えば、極めて細い長方形形状)の開口部41から成長した部分円筒体状メッキ層42を型(金型マスター)として利用して作製される。手法は、

8

例えば、次のように行なう。メッキ電極となる導電性を有する基板43上に設けた絶縁性マスク層44に形成したスリット状開口部41に、電気メッキによりメッキ層よりなる部分円筒体42を形成し、部分円筒体42を有する基板を金型(マスター)として金型材料を金型(マスター)上に形成し、金型を前記金型(マスター)から剥離することにより金型をまず作製する。スリット状開口部41上にメッキを行うと、まず開口部41内にメッキが析出し、さらにメッキを行うと開口部41及びマスク層44上にメッキ層が成長し始める。メッキ槽内で対向する電気メッキの陽極に比べてスリット幅が十分に小さいと、メッキ層42は等方的に成長する。そのため、図4(b)に示すように、スリット41に直交する面内では半円状に、スリット41に沿う方向には平行に、メッキ層42が開口部41及びマスク層44上に形成される。その結果、成長したメッキ層42は部分円筒体をなすことになる。メッキは等方的に成長するため、スリット終端では部分球面形状或はそれに近い形状を呈することになる。

【0029】この際、開口部の幅を ϕ とし、メッキ層の開口部直上部の曲率半径をRするとき、 $\phi \leq 0.35R$ なる関係式を満たすと、より正確に部分円筒体を形成し得る。所望の曲率半径を持たせる為に上記関係式を満足することが重要な意味を持つのは、特に、前記開口部の幅が $10\mu\text{m}$ を超える場合である。また、前記開口部の幅が $10\mu\text{m}$ 以下であっても、より正確に部分円筒体を形成し得る。これは、より細い光導波路コアを所望するときに利用され得る。

【0030】上記手法は、エッチングにより原版を形成する方法と比較して、所望の形状が得られた時点で陽極と陰極との間に流れる電流を停止すればメッキの析出を停止できるために、水洗までの時間でエッチングされてしまう様な不測の形状誤差を回避でき、作製の制御性が良い。また、析出時間の制御により、部分円筒体42の径を制御できるため、任意の幅を有する光導波路を作製できる。光導波路用金型は、メッキ層を形成した基板(マスター)に金型を形成した後、金型を剥離することによって得られる。

【0031】この様に、本発明の作製方法は、典型的には、上記部分円筒体状のメッキ層の形態を利用し光導波路用金型を形成するものであり、この金型を用いてモールドイングにより形成した光導波路の形状はメッキ層42の形状と等しくなる。光導波路の材料としては、光導波路用金型との剥離が容易な材料が用いられる。

【0032】上記光導波路用金型は、電気メッキにて形成した金型(マスター)から直接形成できるために、高価な設備を必要とせず、低コストで作製でき、また容易に大判化することも可能となる。さらに、メッキ時間、メッキ温度によりメッキ層の大きさを、その場観察により制御することができ、容易且つ高精度に光導波路幅を

(6)

9

制御できる。

【0033】また、マスク層に光導波路の配置に合わせて、複数のスリット状開口部を形成することにより、同様の方法を用いてより複雑な光導波路用の金型を形成することもできる。剥離の方法としては、機械的に金型と基板を剥離すればよい。しかしながら、金型が大判化すると剥離時に変形する場合があるため、基板、マスク層、メッキ層を順次裏面よりエッチング除去する方法を取ることが可能である。

【0034】基板及びメッキ層上に犠牲層を設けた後に金型を形成する場合には、犠牲層を除去することにより金型と基板を剥離することが可能である。この場合、犠牲層をエッチングするエッチャントにより金型（マスター）が腐蝕されないよう犠牲層の材料を選ぶ。犠牲層をエッチングするエッチャントによりメッキ層及び基板も腐蝕されない場合、メッキ層を形成した基板を金型用の金型（マスター）として、複数回使用することが可能であり、金型が複数回の使用により傷、汚れ等により使用できなくなった場合に、同様の方法により金型を容易に作製できる。

【0035】光導波路用金型の材料としては、メッキ層を形成した基板上に形成でき、かつ剥離できるものであれば、樹脂、金属、絶縁体等の何れの材料も用いることができる。簡略な金型の形成方法としては、樹脂や金属、ガラスの熔融または溶解した溶液を、メッキ層が形成された基板上に塗布し硬化した後に、上述した剥離の方法により剥離し形成する。この場合、金型材料としては基板やメッキ層が熱損傷や合金化しない材料を選択する。

【0036】他の方法としては、基板を陰極としてメッキ層及びマスク層上に金型を順次電気メッキして形成する。犠牲層を用いるのであれば、犠牲層上に金型用電極層を形成し、該金型用電極層を陰極として電気メッキを行う。上記方法により作製した光導波路用金型を用いても、モールドイングにより光導波路を作製することができる。

【0037】これにより、低コストで且つ容易に、任意のパターン形状の光導波路を作製することが可能となる。

【0038】更に、本発明の光導波路作製方法はモールドイングによる作製方法であるため、任意の基板あるいはシート上への光導波路形成が行える。半導体ウェハ上へも光導波路の形成が行えるため、様々な光素子や電子素子との一体化に適し、光を信号やデータ転送に使う所謂光インタコネクション装置を広い範囲に適用できる。

【0039】

【発明の実施の形態】以下、具体的な本発明の実施の形態を図を参照しつつ説明する。

【0040】〔第1実施例〕本発明の第1実施例の光導波路の作製方法を、図5から図7を用いて、以下に詳細

10

に説明する。

【0041】先ず、図5（a）で使用する基板の構成を説明する。メッキ形成用基板51に電極層52を形成し、さらにマスク層53を形成する。メッキ形成用基板材料としては、金属、半導体（シリコンウェハ等）、絶縁体（ガラス、石英、高分子フィルムなど）の何れの材料を使用することも可能である。メッキ形成用基板51として金属材料を使用するのであれば、電極層52を形成する必要はない。また、半導体を用いる場合、電気メッキが可能な程度の導電性を有するのであれば、必ずしも電極層52を形成する必要はない。但し、基板として金属、半導体を用いる場合、全面が電着液に晒される為、金型形成面以外にも電着層が形成されてしまうので、所望の面のみに電着層を形成させたいのであれば、絶縁体を用いるのが好ましい。或は、金属、半導体の表面を部分的に絶縁化したものを用いるのもよい。

【0042】電極層52としては、メッキ液にさらされるために、使用するメッキ液に腐蝕されない材料より選択される。マスク層53としては絶縁性を有することが必要であり、電気メッキ時に電極層52とメッキ液との間の絶縁を保つ。マスク層53は絶縁性を有する材料であればよく、無機絶縁体、有機絶縁体のいずれも使用することができる。

【0043】メッキ形成用基板51上に金型を形成するため、うねりや表面荒さの小さい基板を使用するのが好ましい。また、メッキ層の内部応力や熱応力により基板が反る場合がある為、基板としては、平坦性の良好な、ヤング率の大きな金属板、ガラス基板、シリコンウェハ等を使用することが好ましい。

【0044】電極層52及びマスク層53を基板51上に厚く形成すると、形成方法により表面荒さが増す場合がある。このため、電極層52及びマスク層53の形成方法としては、真空蒸着法、スピンコート法、ディップ方法等の薄膜形成方法を用いる。

【0045】次に、図5（b）に示すように、マスク層53にスリット状開口部54を形成する。開口部54を通じてメッキ層を形成し、マスク層53上にもメッキ層が成長する。開口部幅を小さくすることにより、より小径の光導波路の形成が可能である。開口部形成に当たっては、微小な開口を形成することが可能な半導体フォトリソグラフィとエッチングによりマスク層53に開口部54を形成する。マスク層53として、フォトレジストを用いるとエッチングの工程を省略できるので好ましい。

【0046】メッキは、図7に示すように、開口部を形成したメッキ形成用基板をワーク71として金属イオンを含むメッキ液73に浸け、陽極板72との間を外部電源74と繋げて電流を流し、開口部54にメッキ層を形成する。このことで、まず図5（c）に示すように開口部54にメッキ層55が形成される。この際、メッキ中

(7)

11

に開口部近傍でのメッキ液73の流動が起きないようにする。微小な開口部54にメッキ成長する際に、開口部近傍でメッキ液の流動があると、流動の上流側に比べて下流側のメッキ成長速度が増大し、メッキ層がスリット状開口部中心に対して非対称に成長する。従って、非対称となるメッキ層を金型には使用できないので、この様にする。

【0047】メッキ液73の流動が起きないようにする方法としては、メッキ中にメッキ浴を攪拌しない方法がある。他の方法としては、基板近傍にメッキ液の拡散ができ且つ流動を阻害するようなメッシュを設ける方法がある。特に、攪拌しない方法は簡便である。本実施例では、攪拌しない方法を用いた。

【0048】メッキを行なう場合は、メッキ層の内部応力や、メッキ浴の温度を上げて電気メッキを行なう為に生じる熱応力により基板が反ることがある。樹脂のヤング率及び降伏応力は金属や無機物に比べて小さく4桁以上の差がある。これより、導電体やメッキ層と略同程度の膜厚の樹脂よりなるマスク層では、金型は容易に反ってしまう。また、応力のみならず、樹脂ではメッキ浴により膨潤する問題があるため、樹脂をマスク層に用いる場合は、導電性基板あるいは電極層を有する基板の厚みに比べてマスク層を薄くすることがよい。

【0049】図5(c)に示すようにメッキ浴73中の金属イオンが電気化学反応により、開口部54にメッキ層55が形成され、さらにメッキを続けることで図5(d)に示すようにマスク層53面上にもメッキ層が広がる。

【0050】金属イオンを含むメッキ液73中で微小な開口部54にメッキを行うと、メッキ液中の金属イオンがメッキ層に集中し、メッキの析出が成長方向としては等方的に進行し、半円筒状構造体56が形成される。開口部54の寸法が陽極板に比べて小さく、また金属イオンが一樣にメッキ液73中に溶解しているため、メッキ成長が等方的となる。

【0051】ここでは、作製する光導波路としてはその幅が数 μm から数 $10\mu\text{m}$ の範囲であり、このため、スリット(開口部54)の開口幅は所望の光導波路幅よりも小さくする必要がある。電気メッキでは、メッキ時間、メッキ温度を制御してメッキ層の厚さを容易に制御することが可能である。

【0052】主な、メッキ金属としては単金属では、Ni、Au、Pt、Cr、Cu、Ag、Zn等、合金では、Cu-Zn、Sn-Co、Ni-Fe、Zn-Ni等があるが、他の電気メッキが可能な材料であれば用いることは可能である。特に、Ni、Cr、Cuは光沢メッキが容易にできる点で、メッキ材料として好ましい。

【0053】また、メッキ浴に Al_2O_3 、 TiO_2 、PTFE等の分散粒子を付加することによる分散メッキも、電気メッキの中で、部分円筒状構造体の形成

12

に利用できる。金型の機械的強度、耐食性を分散粒子により向上することが可能となる。

【0054】このように形成した部分円筒状メッキ層を有する基板上に光導波路用金型を形成する。金型を形成する方法としては、部分円筒状メッキ層を有する基板上に、金型となる材料を溶融または溶解した液でもって塗布し硬化する方法が用いられる。この時、金型材料とメッキ層との剥離性の良い各材料を選ぶ。剥離することで光導波路用金型が形成できる。

10 【0055】光導波路用金型を形成する他の方法としては、電気メッキ液を変え、他のメッキ材料を図5(d)の部分円筒状構造体56上に析出させ、基板上に連続した膜を形成するまでメッキを行い、金型を形成する方法がある。この方法の剥離は、金型材料とメッキ層に剥離性の良い材料を選び剥離する。あるいは、基板、マスク層、メッキ層等の何れかをそれぞれのエッチャントによりエッチング除去し、光導波路用金型を残すことにより行う。この場合、前記エッチャントにエッチング耐性のある金型材料を選ぶ。

20 【0056】剥離を行う方法としては、他に、犠牲層を導入する方法がある。光導波路用金型を電気メッキにより形成する。この方法では、図5(e)に示す様に基板上に犠牲層57を形成する。次に、電気メッキ用の金型用電極層58を形成する。この金型用電極層58を陰極として、金属イオンを含むメッキ液中で電気メッキを行い金型61を形成する(図6(a))。この後に、犠牲層57をエッチング除去することで、金型用電極層58を有する金型61と、メッキ層56を有する基板51が剥離できる(図6(b))。次に、金型用電極層58をエッチング除去することで金型が形成できる(図6(c))。

30 【0057】図5から図6の作製フローでは金型用電極層58を除去したが、モールドイングにて光導波路を形成する工程にて、金型用電極層58により光導波路面を汚染する、あるいは金型用電極層の降伏応力が小さく傷が付きやすい等の問題が発生しないのであれば、金型用電極層58を除去しなくてもよい。

【0058】図5から図6の作製フローでは、犠牲層57をメッキ層56及びマスク層53上に形成したが、犠牲層57を形成せず、電極層58を犠牲層として利用し、図6(a)から(b)に至る犠牲層除去の工程で、電極層58をエッチング除去しても図6(c)の金型61を形成することが可能である。

【0059】以上説明した作製方法により、本実施例の光導波路用金型を作製することが可能となる。

【0060】次に、光導波路の作製方法について説明する。ここでは、樹脂よりなる光導波路について説明する。図6(d)に示すように、前述した工程で得られた光導波路用金型61上に、樹脂62を塗布し、次いで支持基板63を樹脂62の上から載せ、樹脂が均一な平面

50

(8)

13

を得てから、用いた樹脂の硬化条件に合わせて硬化する。熱硬化樹脂、紫外線硬化樹脂、電子線硬化樹脂をそれぞれ加熱、紫外線照射、電子線照射等により硬化させる。紫外線照射の際は光導波路の裏面側より光を照射する。このため、支持基板63を使用する場合には光透過する支持基板を使用する。

【0061】硬化時には、気泡が形成されないようにする。樹脂を塗布する場合には、脱気を行うとよい。硬化後に、樹脂62は金型61から剥離され光導波路が形成される。硬化した部分円筒体の樹脂が光導波路コアとなるが、クラッドとしては支持基板そのものを使用してもよいし、また、支持基板に予め十分な層厚のクラッド層を成膜しておいて、樹脂成形によるコアを形成してもよい。この際、クラッド層はコアより低屈折率な材料が選択される。支持基板は光導波路から剥離して、使用してもよい。

【0062】光導波路となる樹脂としては、光導波路を用いる発光または受光素子が利用する光の波長領域で光透過可能な材料を用いる。上記方法で光導波路を作製する場合には、従来の手法と比べて、光導波路、支持基板の材料に対する制限を少なくすることができる。樹脂の代わりに溶解したガラスを使用すれば、ガラスの光導波路を作製できる。

【0063】〔第2実施例〕本発明の光導波路の作製方法によれば、任意のパターン形状を有する光導波路を形成することが容易にできる。例えば、光導波路用金型を作製するスリット状のメッキ開口部を曲折したパターンで形成すれば、図8に示すように導波光の伝播方向を曲げられるL字形の光導波路81が作製される。等方的メッキ成長のおかげで、光導波路の曲折部82は部分球面体ないしそれに近い形状をなし、全反射の曲面コーナーとなる。そのため、導波光は散乱や透過で損失することなく曲折伝播していく。

【0064】同様に、Y字形のスリットを形成して作製したメッキ金型によれば、図9に示すようなY字形の光分岐／合流導波路91が形成される。図8の例と同様、屈曲部分は滑らかであり、分岐による導波光の散乱損失は極めて小さくなる。

【0065】図10は多入力の光合流器の金型の模式図である。メッキを析出させるマスクの開口部のパターン101を、合流前、合流後の光導波路部102、103は細く、スラブ光導波路となる領域104は広くすることで、任意の2次元形状を有する光導波路金型の形成が行われる。

【0066】図11は光導波路111を直交交差させた例である。この例のように、光導波路を直交配置した場合、交差部112（この部分も充分滑らかな曲面形状になる）で導波光が広がっても、直交した方向の光導波路へは全反射条件を満たさないため、ほとんど結合しないで放出される。したがって、交差部112で若干の挿入

14

損失は認められるが、光の伝播は交差の有無に関わらず直進方向に行われる。こういった伝播信号の直交性は、電気の配線では不可能なことである。

【0067】以上のように本発明によれば、任意のパターンを光導波路として描くことが可能であり、しかも、光導波路材料を型押しして形成が可能のため、光を使った通信用、インタコネクション用、計測用、記録用等の光導波路として様々な応用に生かされる。

【0068】〔第3実施例〕本実施例で使用する光導波路について、図5、図6の作製工程図を再び用いて説明する。

【0069】酸化ガスを用いて熱酸化し、両面に1 μ m厚のSi薄膜が形成された6インチ ϕ のSiウエハを、図5に示す基板51として用いる。このウエハに、薄膜形成法の一つである電子ビーム蒸着法により、CrとAuをそれぞれ10nm、200nm連続して成膜し電極層52を形成する。

【0070】次に、全芳香族ポリアミド酸溶液をスピン塗布し、熱処理を行なってポリイミド膜からなるマスク層53を形成する。フォトリソグラフィによりフォトレジストを塗布、露光、現像して開口部を設け、酸素を用いた反応性イオンエッチングによりフォトレジストの開口部のマスク層53をエッチング除去する。こうして、電極層52を露出させ、開口部54を形成する。

【0071】この後、フォトレジストを剥離する。開口部54はスリット状をしており、その幅はおよそ2 μ mである。図7に示すように、このウエハをワーク71として用いて、電極層52を陰極として、硫酸ニッケルと塩化ニッケルと硼酸及び光沢剤からなるNiメッキ浴73を用いて、浴温50℃、陰極電流密度5A/dm²でNiメッキを行なう。Niメッキは、まず、開口部54から析出、成長し、マスク層53上にもメッキ層が広がる。かくして、図5(d)に示す半円筒状構造体のメッキ層56が形成された。この場合、部分円筒体の幅が10 μ mとなるまでメッキを析出させた。この際、陽極板72として数センチメートル角の大きさのものを使用すれば、これは、開口部54のおよそ2 μ mの幅に対して、等方的メッキを実現するのに充分大きい数値である。

【0072】次に、常圧CVD (Chemical Vapor Deposition) 法により、PSG (phospho-silicate glass) を350℃にて1 μ m成膜し、犠牲層57を形成する(図5(e))。続いて、電子ビーム蒸着法により、TiとAuをそれぞれ10nm、200nm厚で連続して成膜して金型用電極層58を形成し、図5(e)の金型用の金型を形成する。

【0073】この金型をワークとして用いて、金型用電極層を陰極として、前記Niメッキ浴にて浴温50℃、陰極電流密度5A/dm²でNiメッキを行ない、金型

(9)

15

61を形成する(図6(a))。次に、フッ酸と弗化アンモニウムとの混合水溶液に図6(a)の基板を浸漬して、犠牲層57であるPSGをエッチング除去し、基板51と金型61を剥離することができた(図6

(b))。この時、金型用電極層58のTiも同時に除去される。この後に、金型用電極層58のAuを沃素と沃化カリウムの混合水溶液によりエッチング除去し、光導波路用金型を形成する(図6(c))。

【0074】剥離後の基板は図5(d)に示す半円筒状構造体56を有する構成であり、図5(e)、図6の工程を行うことにより、再び光導波路用金型を作製することが可能となる。

【0075】本実施例の光導波路用金型の作製方法において、金型を電気メッキにより形成できるように、同一形状の金型を複数形成することができる。従来の金型形成方法では、原版は一枚であつたのに対して、本実施例では、金型自体を金型(マスター)で形成し、犠牲層プロセスを用いて複数形成することが可能である。これにより、一層の低コスト化が達成できる。

【0076】次に、図6(d)に示すように、紫外線硬化するフォトリソマーからなる樹脂62を金型61に滴下し、支持基板63となるガラス基板をその上に載せ、次いで紫外線を照射して樹脂62を硬化させる。フォトリソマー62はガラス基板63より高屈折率であるため、光導波路コアとして機能する。また、ガラス基板63には、以下で述べる発光素子、受光素子およびICチップを実装するための金属膜が一部成膜されている。また、ここではガラス基板を使用した、同様に透明であり、強度の十分な材料であれば、本実施例に用いる基板として使用できる。

【0077】次に、上記の如き光導波路と組み合わされる発光素子および受光素子の作製について説明する。ここでは、発光素子としては0.8μm帯の面発光レーザを、受光素子としてはpinホトダイオードを使用した。

【0078】図12において、面発光レーザチップ1201は次のような構造を有する。GaAs基板1202上に、AlGaAs/GaAs量子井戸活性層1203とAlGaAsスペーサ層とからなる1波長共振器を、AlAs/AlGaAsの1/4波長厚の多層膜(20~30組程度)から成るDBR(分布ブラッグ反射)ミラー1204、1205で挟むように、MOVPE(有機金属気相成長)法などによってエピタキシャル成長した構造となっている。発光領域に電流狭窄を行なうため、円環状に活性層1203までエッチングして電流狭窄構造を形成している。そして、ポリイミドで凹部を埋め込んで平坦化し、SiNx等の絶縁膜を形成して窓開けしてから電極を形成している。

【0079】本実施例でのレーザチップサイズは、面発光レーザの発光領域が10μmφであり、全体のチップ

16

は2mm角としたが、もちろんサイズは自由に設計できる。ただし、本実施例では、GaAs基板上にバンドギャップ波長0.83μmのAlGaAs/GaAs活性層1203をエピタキシャル成長しているため、GaAs基板1202が吸収体となってしまう。そこで、GaAs基板1202をDBRミラー1204が露出するまでエッチングにより除去して窓領域1206を形成し、基板1202側から光を取り出せる構造としている。

【0080】レーザチップを実装するSi基板1207には、面発光レーザ1201に対応する電極パッド1208が形成してあり、レーザ駆動トランジスタ1209も集積している。Si基板1207上の配線1208はCu/Ni/Auのメッキ等により形成してあり、電極パッド部にはハンダがやはりメッキ等により形成してある。レーザチップ1201上の電極部とSi基板1207上の電極パッド1208をアライメントして加熱することで、簡単に両者間の電氣的接合が得られる。

【0081】この電氣的接合はハンダを使う手段以外に、Au電極同士を圧着あるいは超音波をかけて接合する方法もある。また、導電粒子の入った異方導電性接着剤を塗布して、加圧、加熱してもよい。この場合、Au配線をメッキで形成して10μm以上の厚さにしておけば、接着剤の異方性を引き出すことができ、歩留まり良く隣り合う配線との絶縁を取りながら電極の接合ができる。

【0082】一方、受信側基板1210には図12に示すように、pin型ホトダイオード1211が形成されている。ホトダイオード1211の構造は、図12に概略示すようになっている。すなわち、p⁻(π)-Si基板1210に受光部となるn領域1212を拡散により形成し、SiO₂等の絶縁膜1213を形成して、リング状の電極1214およびその配線を形成する。n領域1212との電極コンタクトは、絶縁膜1213にスルーホールを形成して電極1214を埋め込めばよい。一方、p側は基板裏面にp⁺層を形成し、電極を全面に形成する。同一基板には信号増幅用のトランジスタ1215が集積されている。

【0083】以上のように作製した送信側基板1207と受信側基板1210を、本実施例では、光導波路62の形成されたガラス基板63上の金属膜上に実装した。

【0084】図13および図14は本実施例により作製した光導波路および発光素子、受光素子を含む光インタコネクション装置1301である。LSIチップ1302の配置に合わせて、光インタコネクション装置1301には、LSI1302とのI(input)/O(output)を光で行うための面発光レーザ1303およびホトダイオード1304を形成したそれぞれの基板が実装されている。そして、面発光レーザ1303およびホトダイオード1304の入出射位置に対応するように、光インタコネクション装置1301裏面には光導波

(10)

17

路1305が張り巡らされている。

【0085】図14にはその上下位置関係を分かりやすくするために、概略の断面図を示している。面発光レーザ1303からの出射光が、光導波路1305による経路1401でホトダイオード1304に伝送される様子を表している。LSIチップ1302を図13のように光インタコネクション装置1301に実装することで、チップ間のデータ転送を、光を信号として、並列に高速に行うことができる。

【0086】 [第4実施例] 本実施例の発光素子は、 $0.98\mu\text{m}$ 帯の面発光レーザを使用した。図15において、面発光レーザ1501は次の構造を持つ。GaAs基板1502上に、InGaAs/GaAsからなる歪み2重量子井戸活性層とAlGaAsスペーサ層からなる1波長共振器を、AlAs/AlGaAsの1/4波長厚の多層膜から成るDBRミラーで挟む構造を積層している。発光領域1503に電流狭窄を行なうため、円環状に活性層近傍までエッチングした後、ポリイミドで凹部を埋め込んで平坦化している。この際、エッチングして現れたDBRミラーの側面のAlAs層のみ選択酸化して、さらに電流狭窄化してもよい(第3実施例でも同様にしてもよい)。本実施例では、発振波長が $0.98\mu\text{m}$ なのでGaAs基板1502を透過させることができる。ここでは、面発光レーザ1501からの光が放出できるように電極1504の一部に窓をあけている。また、同一基板1502上にはショットキーバリア型FET(不図示)も集積化してあり、面発光レーザの駆動トランジスタとして機能する。

【0087】図15に示す構造のように、受光素子としては、ショットキーバリア型ホトダイオード1505を用いた。半導体基板上に図15のような楕円形電極1506を設けるだけで、高感度、高速な光検出器が得られ、これはMSM(Metal-Semiconductor-Metal)ホトダイオードと呼ばれている。本実施例では、半絶縁性のGaAs基板1507にアンドープのGaAsバッファ層1508を $1.5\mu\text{m}$ 厚にエピタキシャル成長し、絶縁膜1509としてSiNxを成膜してから窓領域を形成して、図15のような楕円形電極1506を作製している。このMSMホトダイオード1505は、第3実施例と同様に、各光導波路1511の光出力端に対応する位置に作製してある。

【0088】以上のように作製した発光素子、受光素子をSiウェハ上に第3実施例と同様の手法により実装した。

【0089】つづいて、光導波路の作製方法を説明する。メッキ用基板として、6インチ角の石英ガラス基板を用いた。ここで、メッキ層には、Niメッキ浴を用いている。基板及び開口部の寸法は第3実施例と同様とした。次に、図5(e)の犠牲層を形成せず、TiとAuからなる金型用電極層を、直接、メッキ層を有する基板

18

(図5(d))上に形成する。この後、金型用電極層を陰極として、シアン化金カリウムとりん酸-水素カリウムとキレート剤及び光沢剤からなる金メッキ浴を用いて、浴温 40°C 、陰極電流密度 $1\text{A}/\text{dm}^2$ でAuメッキを行ない、Auよりなる金型を形成する。このようにしてメッキ層を有する基板上にAuの金型を形成できた。

【0090】次に、金型の剥離工程について説明する。まず、基板をフッ酸と弗化アンモニウムの混合水溶液により除去し、電極層をArを用いたイオンミリングにより除去した後に、TMAH(Tetramethyl ammonium hydroxide)水溶液に浸漬し、ポリイミド膜のマスキ層を除去する。このようにして、基板と電極層とマスキ層を除去し、半円筒状構造体が埋め込まれた金型を形成する。最後に、 80°C に加熱した硫酸水溶液に金型を浸漬し、Niメッキの半円筒状構造体をエッチング除去し、図6(c)に示すと同様の金型を形成できた。

【0091】次に、面発光レーザ1501およびMSMホトダイオード1505を実装したSiウェハ上へ、全芳香族ポリアミド酸溶液を滴下し、スピンコートを経て熱硬化することでポリイミドからなるクラッド層1510を形成する。続いて、クラッド層1510とは異なる全芳香族ポリアミド酸溶液を上記金型上に塗布し、クラッド層1510上で圧着、熱硬化した後、金型を剥離することで光導波路コア1511を形成することができた。コアとなるポリイミドはクラッド層1510より高屈折率の材料である。

【0092】本実施例により、発光素子、受光素子、電子回路、光導波路が一体化したコンパクトで歩留まりの良い光インタコネクション装置を実現できる。

【0093】[第5実施例] 本発明による第5の実施例は、SOI(Silicon on Insulator)基板を光導波路基板、および光素子、電子素子の実装基板として用いている。面発光レーザの光出力は、第3および第4の実施例と同様、光導波路を伝播させて、ホトダイオードで光検出するものである。

【0094】図16で、Si基板1601上に SiO_2 1602およびアンドープSi層($0.3\mu\text{m}$ 程度)1603が形成されたSOI基板に、第4実施例と同様に、MSMホトダイオード1604が形成されている。また、素子分離のためにp拡散層1605が設けられ、面発光レーザ駆動用のドライバとしてバイポーラトランジスタ1606を集積化している。該トランジスタ1606では、Si層1603にn拡散層1607を形成してコレクタ電極1608が形成され、p型拡散層1609を形成してベース電極1610が形成され、さらにn型拡散層1611を形成してエミッタ電極1612が形成されている。

【0095】本実施例では、発光素子として、GaAs

(11)

19

基板上にバンドギャップ波長0.77 μ mのAlGaAs/GaAs活性層をエピタキシャル成長して作製した面発光レーザチップ1613を用い、SOI基板1601~1603へ実装している。光出射のため、電極1614に窓領域1615を形成している。また、SOI基板裏面から光の送受を行うため、Si基板1601の一部をSiO₂1602までエッチングして窓あけ(1616、1617)している。

【0096】SOI基板裏面には、クラッド1618およびコア1619からなる光導波路が形成されている。本実施例のSOI基板1601~1603上に直接集積回路を形成した場合、チップ内の配線の一部に光が使われることになる。特に、配線距離の長いトランジスタ間では配線の微細化にともない、伝送速度の低下、消費電力の増大が懸念され、光インタコネクションが極めて有効となる。チップ内に限らず、第1実施例と同様、チップ間あるいはボード間の光インターコネクションとして用いてもよい。

【0097】今までの実施例では、光導波路を固定の基板へ形成していたが、無論、フレキシブルな基板あるいはシート上へも形成できる。図17はその例を示している。

【0098】フレキシブルシート1701上に光導波路1702を作製し、ボード1703、1704、1705間のインタコネクションを行っている例である。ボード1703内のMCM(マルチチップモジュール)1706、1707間でも、同様に光導波路1708を介して光インタコネクションを行っている。

【0099】また、今までの実施例では、発光素子として、GaAs基板上のInGaAs/GaAs系やAlGaAs/GaAs系の例を示したが、もちろん他の材料、波長、すなわち青色発光のGaN系、GaAs基板上の長波長材料であるGaInNAs、GaAsSbなどでも同様のことが実現できる。1.3 μ m、1.55 μ mといった長波長帯を使用する場合は、Siが透明となるため、InGaAsあるいはGeといった材料からなる受光素子が好適である。

【0100】また、ここで挙げた実施例では、発光素子として面発光レーザを使用した。が、端面発光型レーザでも構成は可能である。もちろん、発光ダイオードLED(発光ダイオード)は、面発光レーザと同様面発光型であるため本発明に好適な発光素子である。

【0101】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光導波路、その作製方法、およびこれを用いた光インタコネクション装置では、部分円筒状の光導波路を用いるため伝播損失が低く、且つ、光導波路の終端部が部分球面形状ないしそれに近い形状を有するため、発光素子、受光素子との光結合効率の高い光導波路が実現できる。

【0102】また、本発明によれば、メッキ法により作

20

製した型を用いて上記光導波路を作製するため、作製が容易で、任意の基板上に任意のサイズの形成が可能で、量産性に優れた光導波路を作製できる。さらに、本発明による光導波路をもとに、発光素子、受光素子と組合せることで、簡便で高速広帯域の光インタコネクション装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による光導波路の形状を説明する図である。

10 【図2】本発明の光導波路を用いた光インタコネクション装置の概念を示す断面図である。

【図3】本発明の光導波路を用いた光インタコネクション装置の概念を示す断面図である。

【図4】本発明の光導波路を形成するためのメッキによる部分円筒状構造体を説明する図である。

【図5】本発明による光導波路の作製方法を説明する断面工程図である。

【図6】本発明による光導波路の作製方法を説明する断面工程図である。

20 【図7】本発明による光導波路の作製方法で用いるメッキ槽を説明する為の図である。

【図8】本発明により作製した光導波路の応用形態を示す図である。

【図9】本発明により作製した光導波路の応用形態を示す図である。

【図10】本発明により作製した光導波路の応用形態を示す図である。

【図11】本発明により作製した光導波路の応用形態を示す図である。

30 【図12】本発明の光導波路を、発光素子および受光素子と一体化して作製した光インタコネクション装置の実施例を示す一部破断した断面図である。

【図13】本発明による光インタコネクション装置を用いて、LSIチップ間の配線を行う概念図である。

【図14】本発明による光インタコネクション装置を用いて、LSIチップ間の配線を行う概念図である。

【図15】本発明の光導波路を、発光素子および受光素子と一体化して作製した光インタコネクション装置の他の実施例を示す一部破断した断面図である。

40 【図16】本発明の光導波路を、発光素子および受光素子と一体化して作製した光インタコネクション装置の他の実施例を示す一部破断した断面図である。

【図17】本発明の光導波路を用いて構成したボード内およびボード間の光インタコネクション装置を示す図である。

【符号の説明】

11、21、81、91、111、1305、170

2、1708 光導波路(コア)

12、22 光入出力導波路部

50 13、26、1510、1618 光導波路クラッド

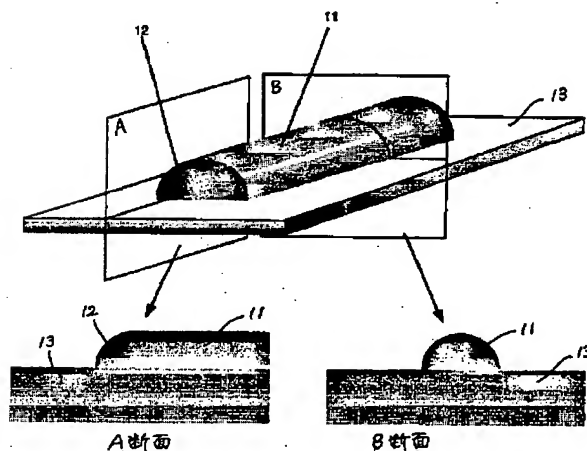
(12)

21

(基板部)

- 23、1303 発光素子
- 24、1304 受光素子
- 25、27 基板
- 41、54、101 メッキ析出用開口部
- 42、56 部分円筒状メッキ構造体
- 43、51 メッキ基板
- 44、53 マスク層
- 52 メッキ用電極
- 55 メッキ層
- 57 犠牲層
- 58 金型用電極層
- 61 金型
- 62 樹脂
- 63 光導波路基板
- 71 ワーク
- 72 陽極板
- 73 金属イオンを含むメッキ液
- 74 外部電源
- 82 光導波路曲折部
- 102～104 合流／分岐光導波路の元型となるメッキ構造体
- 112 光導波路交差部
- 1201、1501、1613 面発光レーザ
- 1202、1502 レーザ基板
- 1203 活性層
- 1204、1205 半導体多層膜ミラー

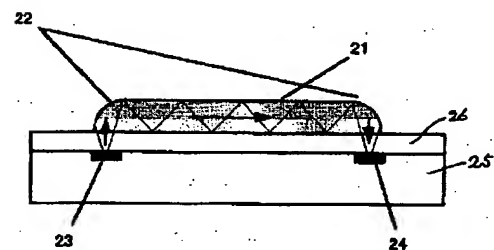
【図1】



22

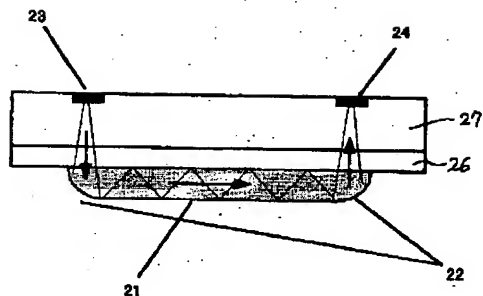
- 1206 面発光レーザ用窓領域
- 1207 発光素子基板
- 1208 レーザ側電極兼配線
- 1209 レーザ駆動用トランジスタ
- 1210、1507 受光素子基板
- 1211、1505、1604 ホトダイオード
- 1212、1605、1607、1609、1611 拡散領域
- 1213、1509 絶縁膜
- 10 1214 ホトダイオード電極
- 1215、1606 受光素子用増幅器
- 1301 光インタコネクション装置
- 1302 LSIチップ
- 1401 経路
- 1503 発光領域
- 1504、1614 レーザ電極
- 1506 楕形電極
- 1508 バッファ層
- 1511、1619 光導波路コア
- 20 1601～1603 SOI
- 1608、1610、1612 トランジスタ電極
- 1615 レーザ出射窓
- 1616、1617 光送受用窓
- 1701 フレキシブル基板
- 1703、1704、1705 ボード
- 1706、1707 マルチチップモジュール

【図2】

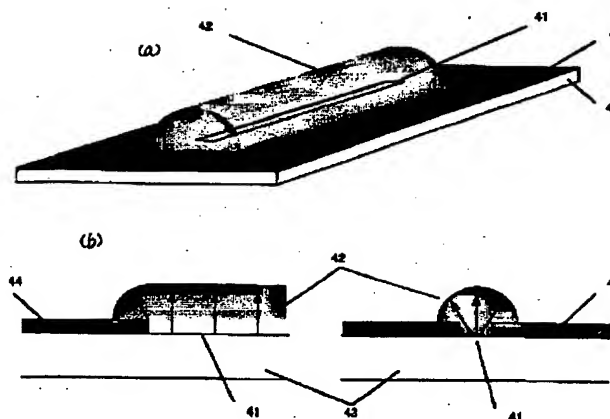


(13)

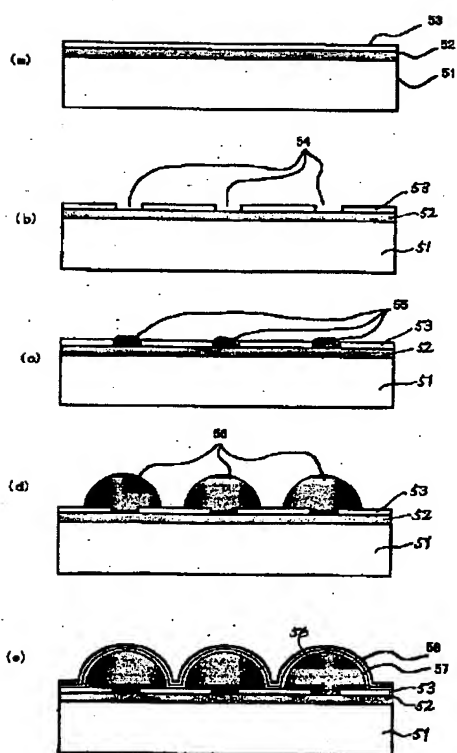
【図3】



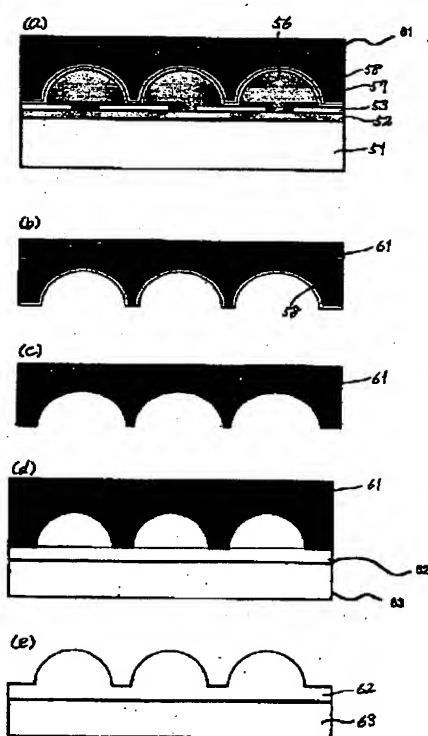
【図4】



【図5】

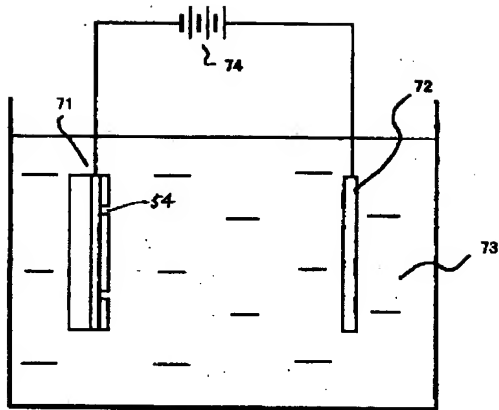


【図6】

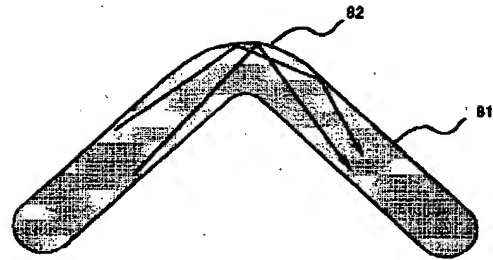


(14)

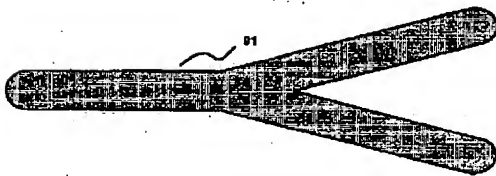
【図7】



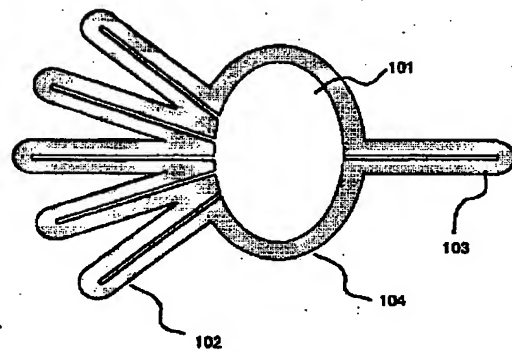
【図8】



【図9】

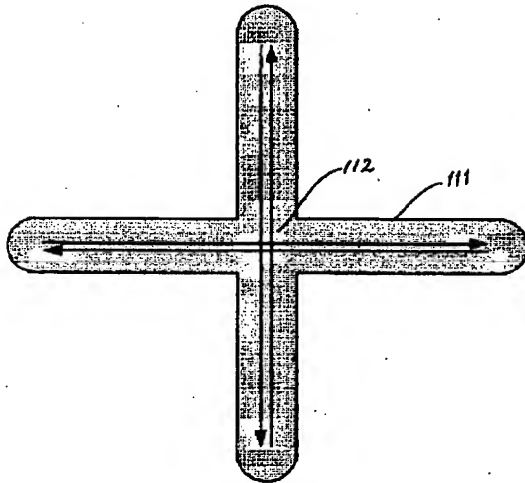


【図10】

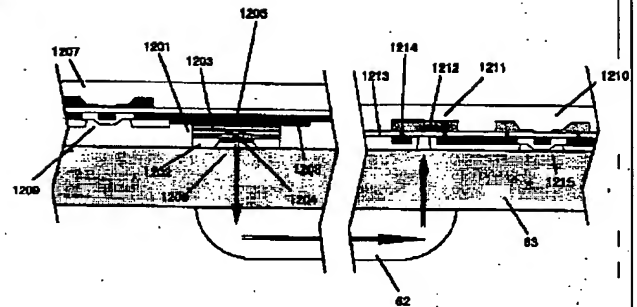


(15)

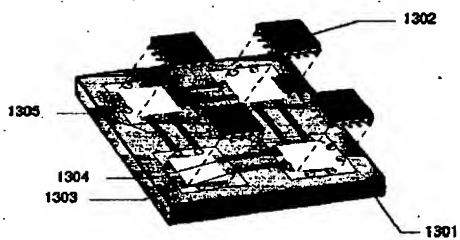
【図11】



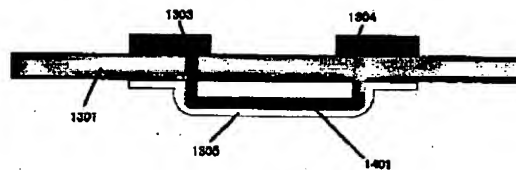
【図12】



【図13】

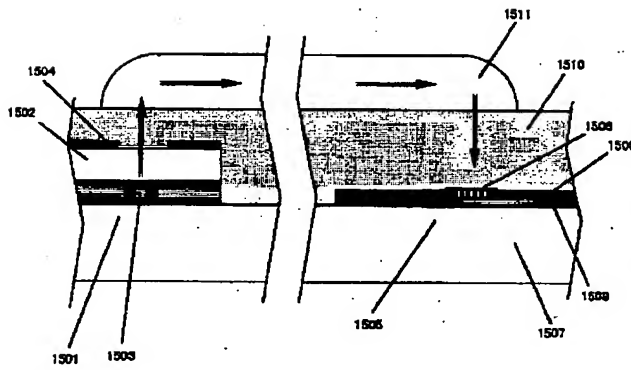


【図14】

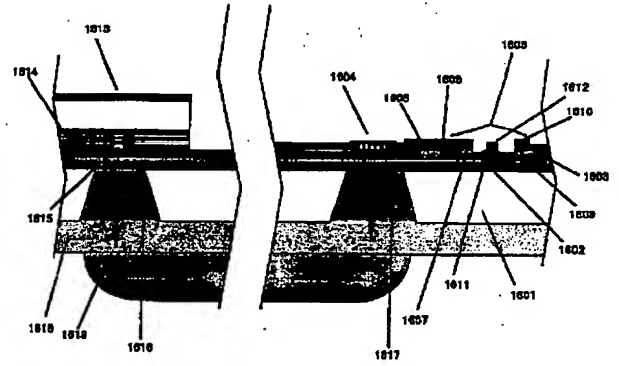


(16)

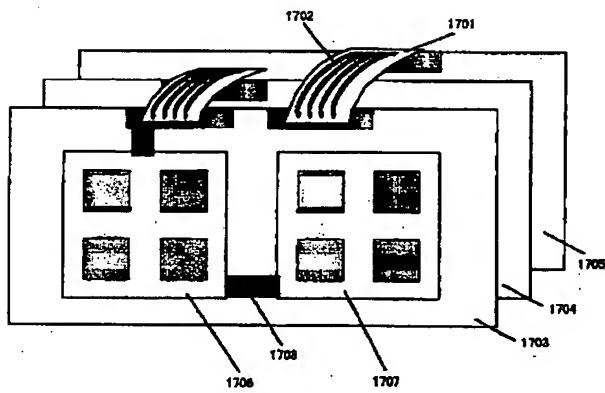
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

(72) 発明者 尾内 敏彦
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キャ
ノン株式会社内

(17)

F ターム (参考) 2H047 KA05 MA07 PA02 PA21 PA26
QA05 TA00 TA36 TA43
4K024 AA02 AA03 AA09 AB01 AB02
AB03 AB08 AB15 BA11 BB07
BB09 FA05 GA16
5F073 AB17 CA04